

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ & ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ ΦΥΣΙΚΗ & ΤΕΧΝΗΤΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Θεόδωρος Μερτζιμέκης

tmertzi@phys.uoa.gr

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Ιστοχώρος Διαλέξεων

<http://users.uoa.gr/~tmertzi/Class>

Ωρες γραφείου

Δευτέρα 11'00–12'00

Παρασκευή 12'00–13'00

Τομέας Πυρηνικής Φυσικής, Τμήμα Φυσικής

γραφείο V 34B

<http://users.uoa.gr/~tmertzi/Class>



THEO MERTZIMEKIS / DEPARTMENT OF PHYSICS / UNIVERSITY OF ATHENS



αρχική

προπτυχιακά

μεταπτυχιακά

σεμινάρια

θερινά σχολεία

Μεταπτυχιακά μαθήματα

Στο ΜΔΕ του Τμήματος Φυσικής, ΕΚΠΑ:

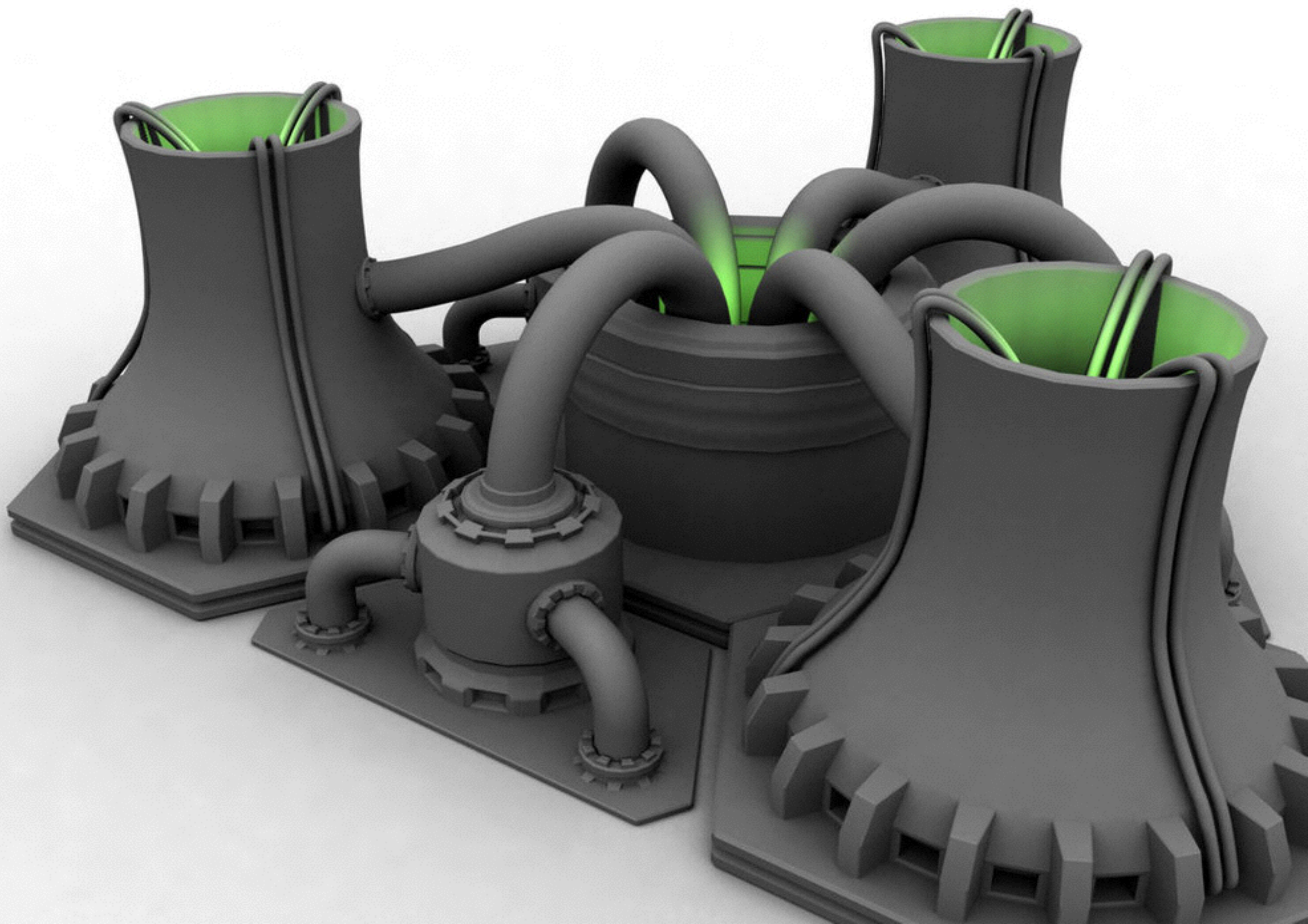
- [[www](#)] Πομπηϊκή Φυσική II

Στο Διατμηματικό ΜΔΕ "Εφαρμογές της Βιολογίας στην Ιατρική", ΕΚΠΑ:

- [[www](#)] Ακτινοβολίες και υγεία (διάλεξη & εργαστήριο)

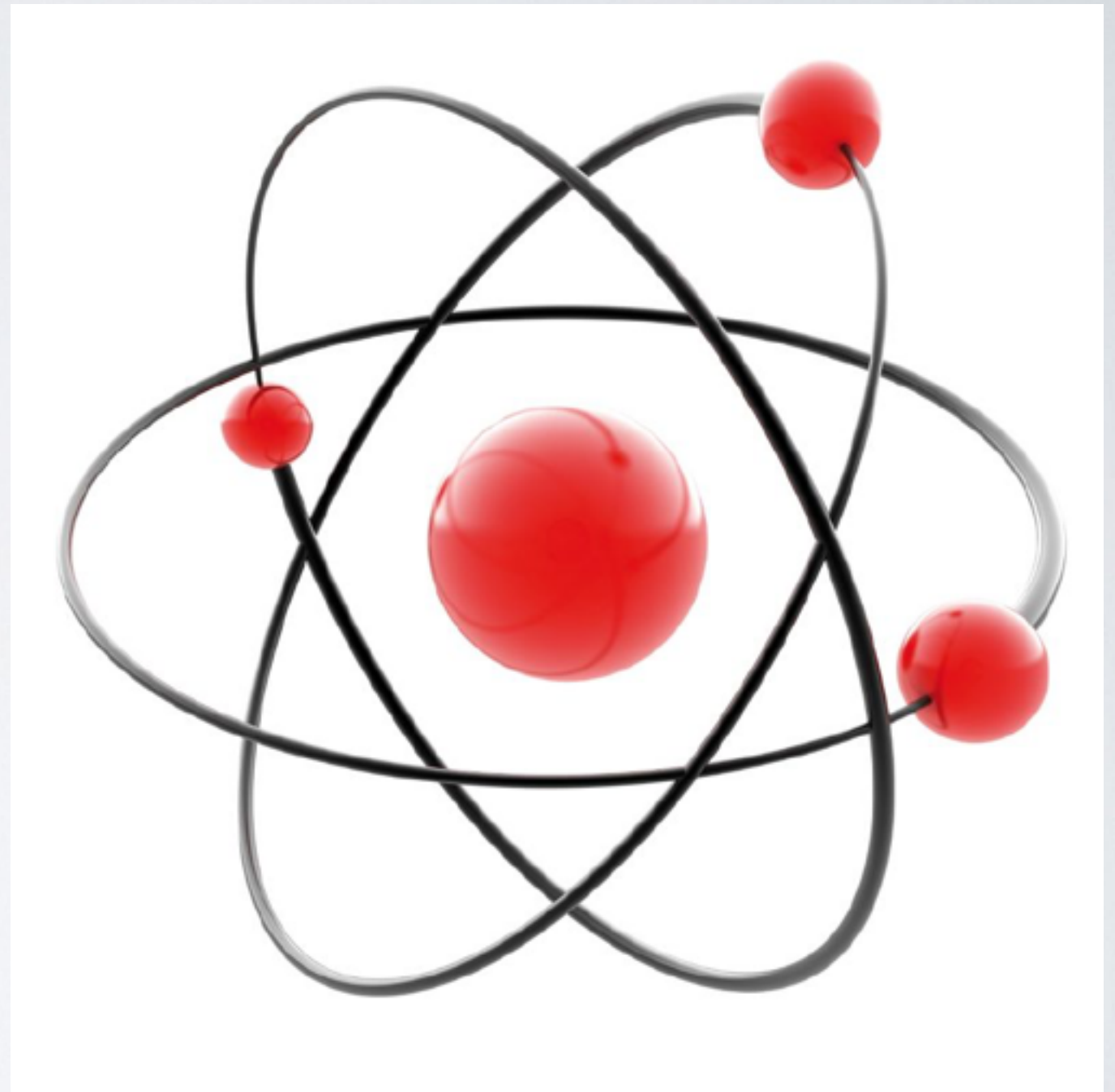
Στο Τμήμα Μηχανολογίας & Κατασκευαστικής, Παν. Κρήτης:

- MME554 / Contemporary Applications of Ion-Beam and Synchrotron Techniques (ERASMUS fast course)



ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

- Ατομο
- Πυρήνας
- Ισότοπα
- Αστάθεια ισοτόπων
- Ακτινοβολία

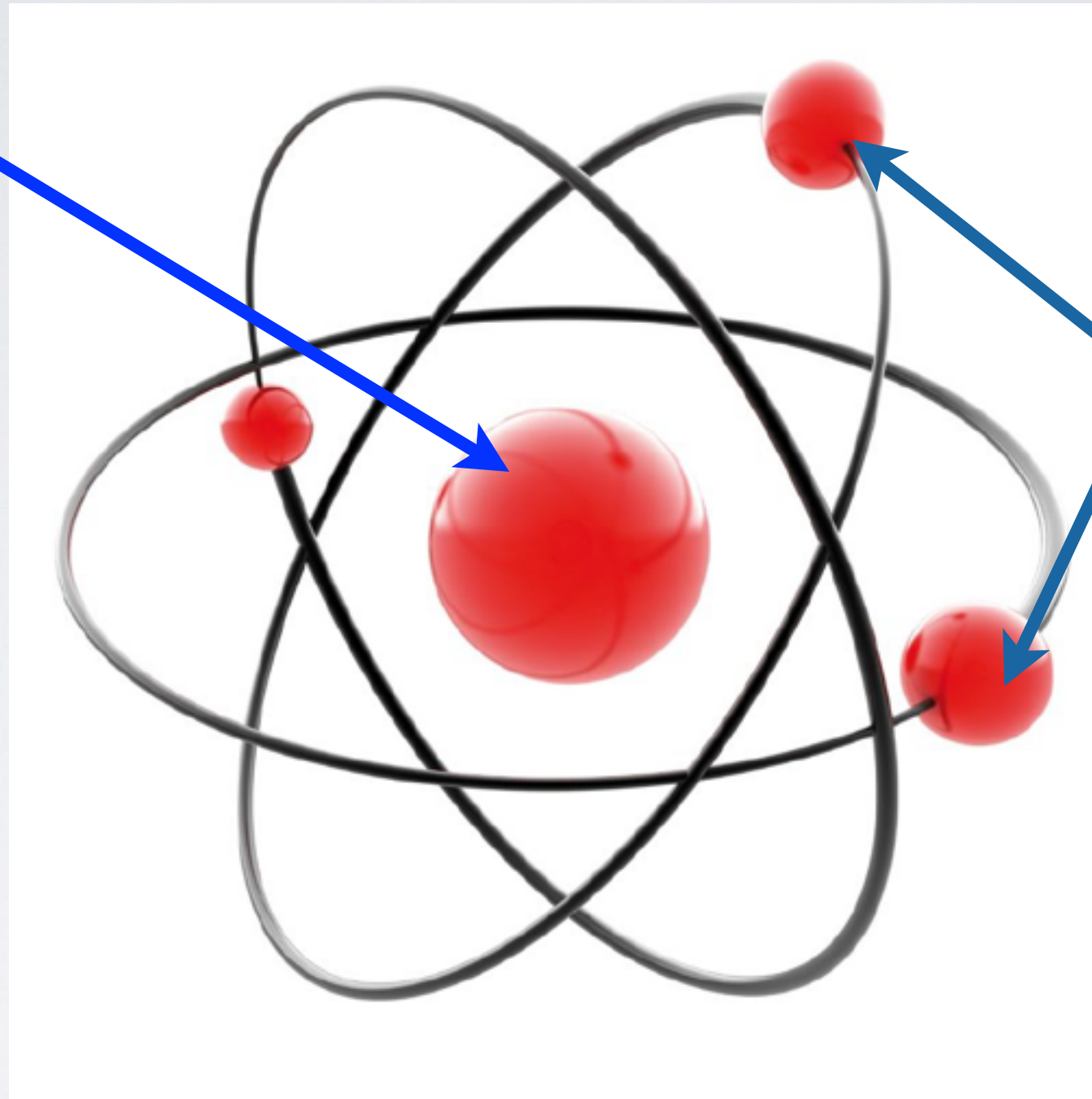


ΤΟ ΑΤΟΜΟ

πυρήνας



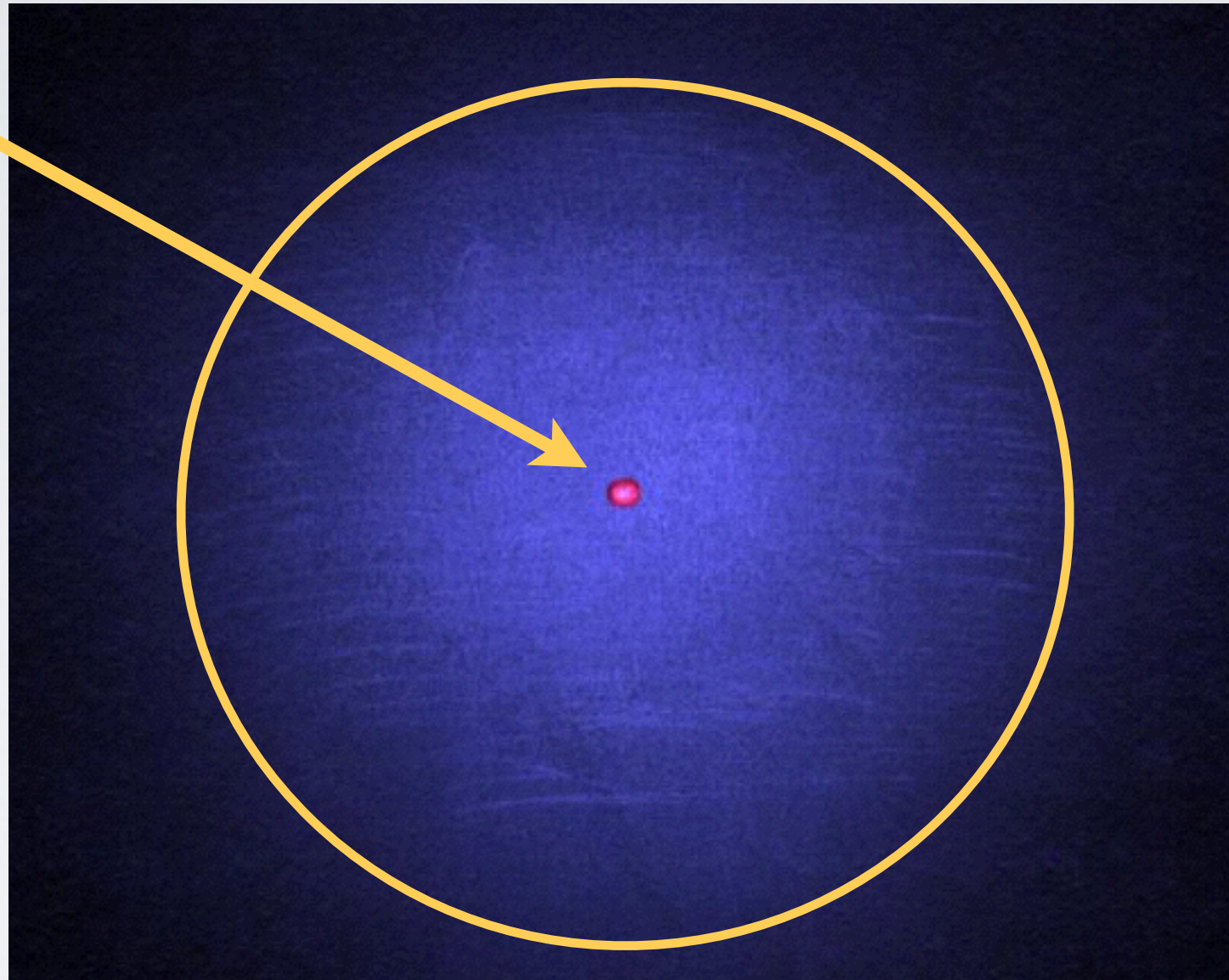
Δημόκριτος



ηλεκτρόνια

Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

πυρήνας



Neils Bohr

νέφος ηλεκτρονίων

ΤΟ ΑΤΟΜΟ

- Το άτομο είναι η ελάχιστη αδιαίρετη ποσότητα ύλης που παρατηρείται να δομεί το Σύμπαν
- Ομως δεν είναι στοιχειώδες σωματίο (έχει δομή)
- Ως φιλοσοφική έννοια θεμελιώθηκε από το Δημόκριτο τον 4^ο αιώνα π.Χ.
- Υπάρχουν διαφορετικά άτομα —> **χημικά στοιχεία**

Ο ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Group	1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	1 n																		
Period 1	1 H																		2 He
2	3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca		21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr		39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
*Lanthanides			*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
**Actinides			**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

ΤΑ ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Τα χημικά στοιχεία συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις
- Είναι γνωστά **118 χημικά** στοιχεία, **92 φυσικά** και **26 τεχνητά**
- Οι ιδιότητες των χημικών στοιχείων καθορίζονται από τον αριθμό ηλεκτρονίων που υπάρχουν στο άτομό τους —> αριθμός Z

Ο ΠΥΡΗΝΑΣ

- Το άτομο διαθέτει δομή
- Στο κέντρο του ατόμου υπάρχει ο πυρήνας
- Ο πυρήνας είναι πολύ μικρότερος σε μέγεθος από το άτομο ($\approx 1:100'000$)
- Είναι θετικά φορτισμένος
- Έχει $\approx 99.5\%$ της μάζας του ατόμου

Ο ΠΥΡΗΝΑΣ

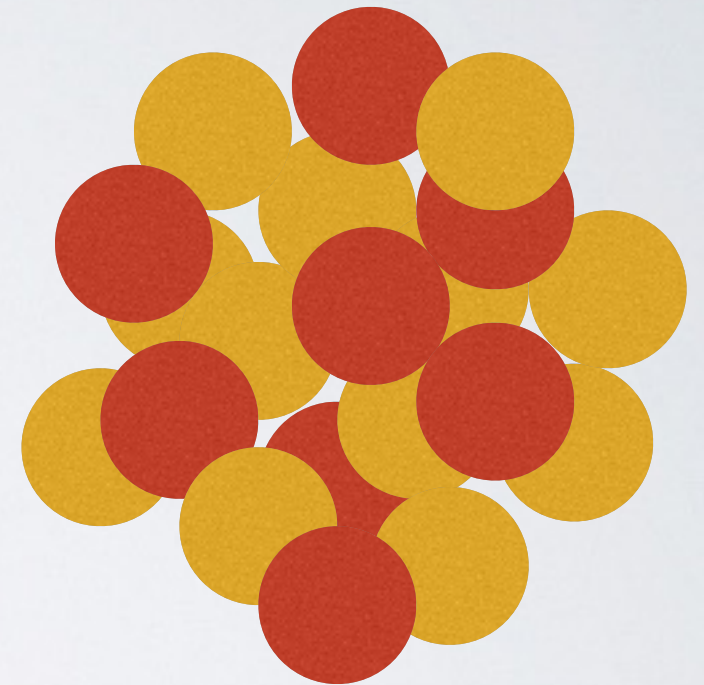
- Ο πυρήνας ανακαλύφθηκε το 1911 από τον Ernest Rutherford
- Ο πυρήνας ανακαλύφθηκε το 1911 από τον Ernest Rutherford. Ο πυρήνας **δεν** είναι ούτε αυτός στοιχειώδες σώμα (έχει δομή)
- Η παρατήρησή του μέσω πειραμάτων σκέδασης σωματίων α (δηλ. πυρήνων ηλίου) σε φύλλα χρυσού άνοιξε την πόρτα του μικρόκοσμου στην έρευνα



Rutherford

ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ

- Ο πυρήνας έχει εσωτερική δομή, αποτελείται: από πρωτόνια και νετρόνια
- Τα πρωτόνια είναι θετικά φορτισμένα σωμάτια
- Τα νετρόνια είναι ουδέτερα σωμάτια, δεν έχουν καθόλου φορτίο



ΤΑ ΙΣΟΤΟΠΑ

- Αριθμός πρωτονίων: $Z \rightarrow$ ατομικός αριθμός
- Αριθμός νετρονίων: N
- Μαζικός αριθμός: $A = Z + N$
- Για **ΙΔΙΟ** αριθμό πρωτονίων (άρα για το ίδιο χημικό στοιχείο) μπορεί να υπάρχει διαφορετικός αριθμός νετρονίων εντός του πυρήνα
- Σε αυτή την περίπτωση έχουμε τα **ΙΣΟΤΟΠΑ**



ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ

- Η σταθερότητα (έστω και παροδική) που εξασφαλίζει την ύπαρξη των ισοτόπων είναι αποτέλεσμα δύο βασικών αλληλεπιδράσεων
- Ηλεκτρομαγνητική άπωση μεταξύ των θετικά φορτισμένων πρωτονίων
- Ελξη πρωτονίων-νετρονίων (νουκλεονίων) μέσω της ισχυρής πυρηνικής αλληλεπίδρασης

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ $BE(A,Z)$

- Η ενέργεια σύνδεσης εκφράζει το συνολικό ποσό ενέργειας που δαπανάται ανάμεσα σε Z πρωτόνια και N νετρόνια, ώστε να παραμείνουν δέσμια ως ένα ισότοπο
- Διαφέρει από ισότοπο σε ισότοπο
- $BE(A,Z) = c^2 [m(A,Z) - Zm_p - Nm_N]$
 - m_p = μάζα πρωτονίου $938.27 \text{ GeV}/c^2$
 - m_N = μάζα νετρονίου $939.56 \text{ GeV}/c^2$

ΑΣΤΑΘΕΙΑ

- Σε αντίθεση με τα 118 στοιχεία, υπάρχουν 3340 ισότοπα
- Βασική ιδιότητα των ισοτόπων είναι η αστάθεια
- Η αστάθεια εκφράζει το φαινόμενο της αυθόρμητης μετατροπής κάποιου ισοτόπου σε κάποιο άλλο
- Συχνά, η αλλαγή αυτή συνοδεύεται με αλλαγή χημικού στοιχείου π.χ. οξυγόνο σε άζωτο (μεταστοιχείωση)

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Ο ανταγωνισμός των αλληλεπιδράσεων οδηγεί σε συγκεκριμένη ενεργειακό προφίλ για το κάθε ισότοπο
- Κάθε αλλαγή του περιεχομένου πρωτονίων-νετρονίων μέσα σε ένα ισότοπο συνοδεύεται από αλλαγή της ενεργειακής του κατάστασης
- Η διαφορά του ενεργειακού ισοζυγίου πριν και μετά από κάθε αλλαγή συνοδεύεται από εκπομπή της ενεργειακής διαφοράς υπό τη μορφή ακτινοβολίας

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

- Η εκπομπή ακτινοβολίας λόγω διάσπασης κάποιου ισοτόπου ονομάζεται **ραδιενέργεια**
- Υπάρχουν τρία είδη ραδιενέργειας
 - **Ακτινοβολία α**
 - **Ακτινοβολία β**
 - **Ακτινοβολία γ**

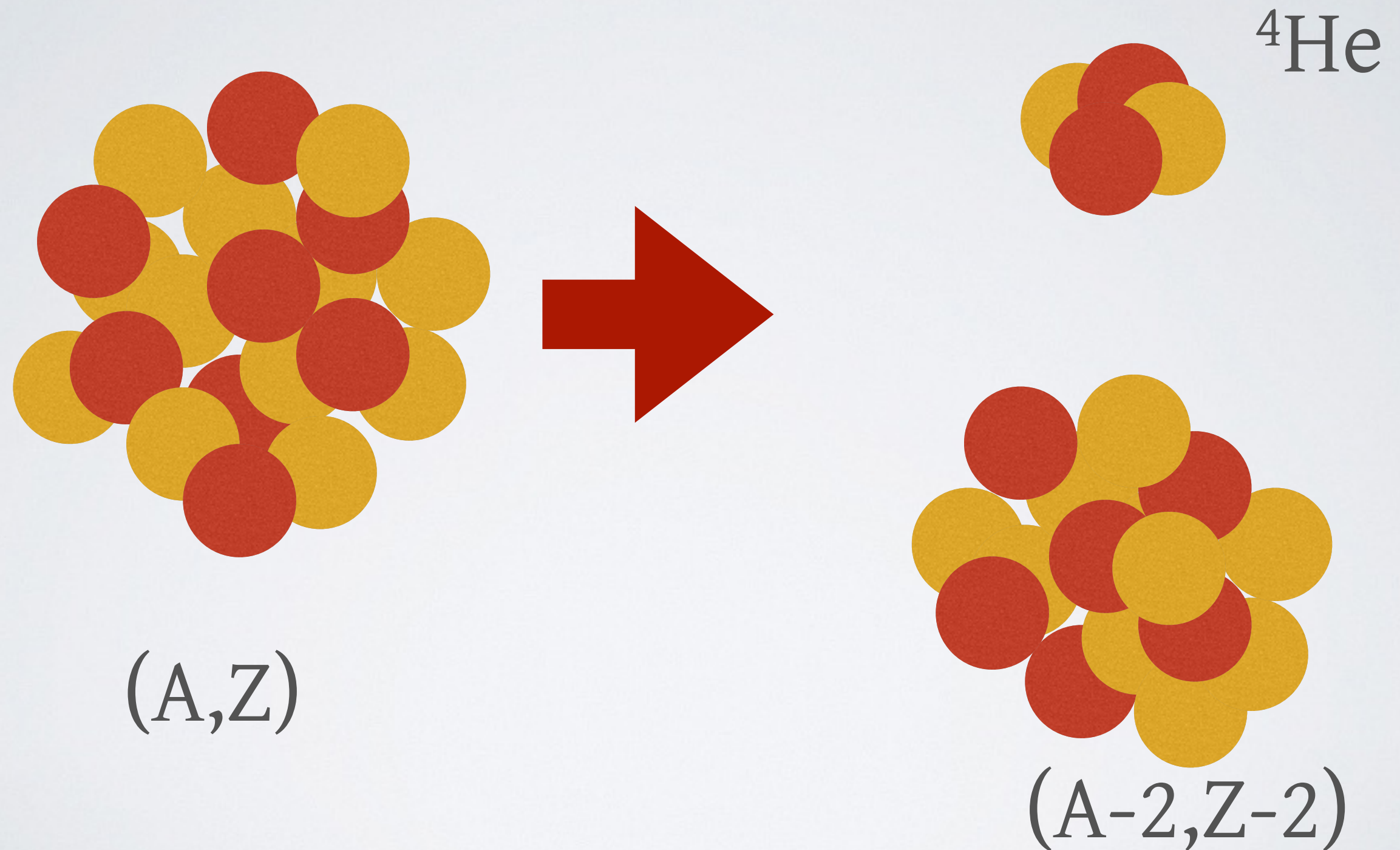
ΑΛΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ

- Εκτός από τις α, β, γ υπάρχουν και ακτινοβολίες λόγω φαινομένων όπως:
 - Σχάση
 - Σύντηξη
 - Εκπομπή νετρονίου
 - Ηλεκτρονική σύλληψη

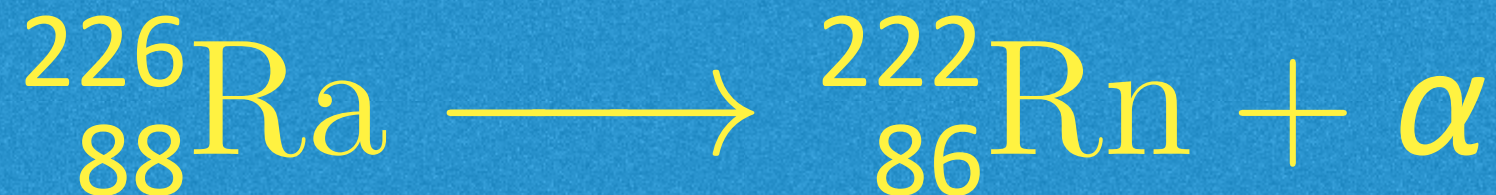
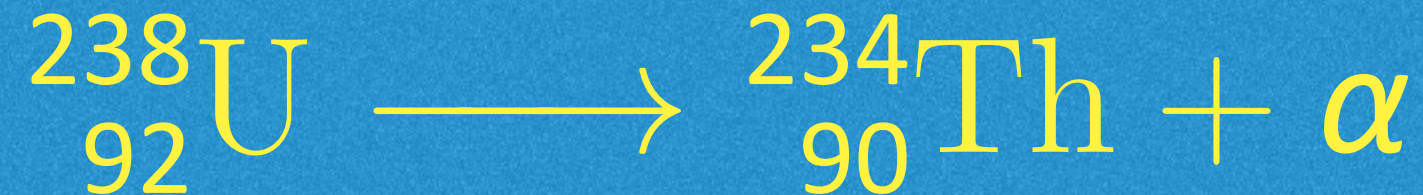
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ α

- Είναι η **εκπομπή σωματίων α** από ένα ισότοπο
- Μπορεί να συμβεί είτε αυθόρμητα είτε κατά τη διάρκεια πυρηνικών αντιδράσεων
- Τα σωμάτια α είναι πυρήνες ηλίου, δηλ. συνδυασμός 2 πρωτονίων + 2 νετρονίων
- Είναι **θετικά** φορτισμένα ($+2e$)

AKTINOBOLIA α



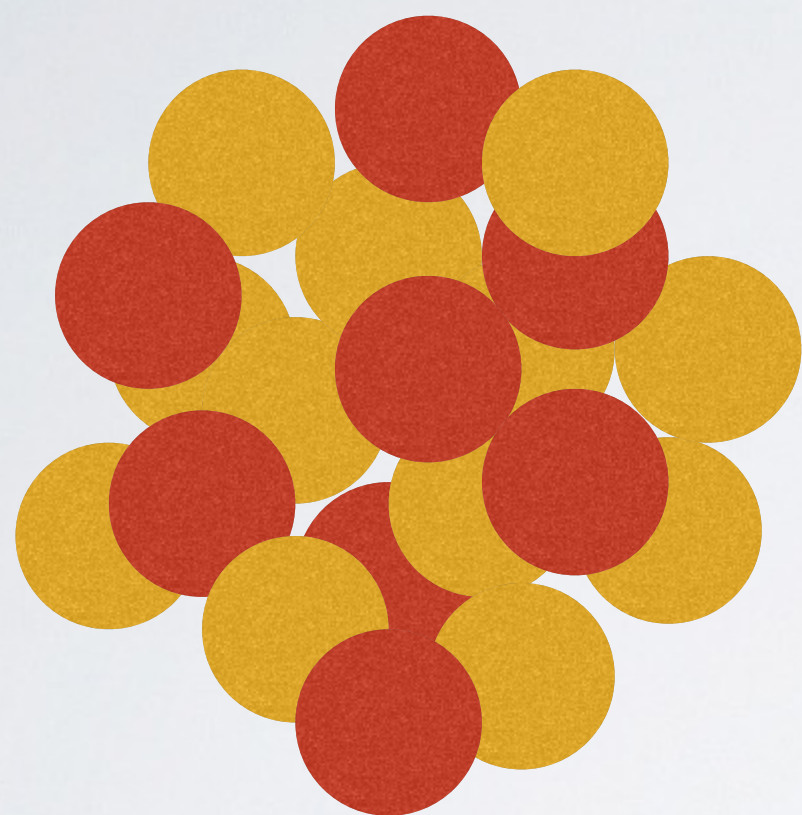
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ



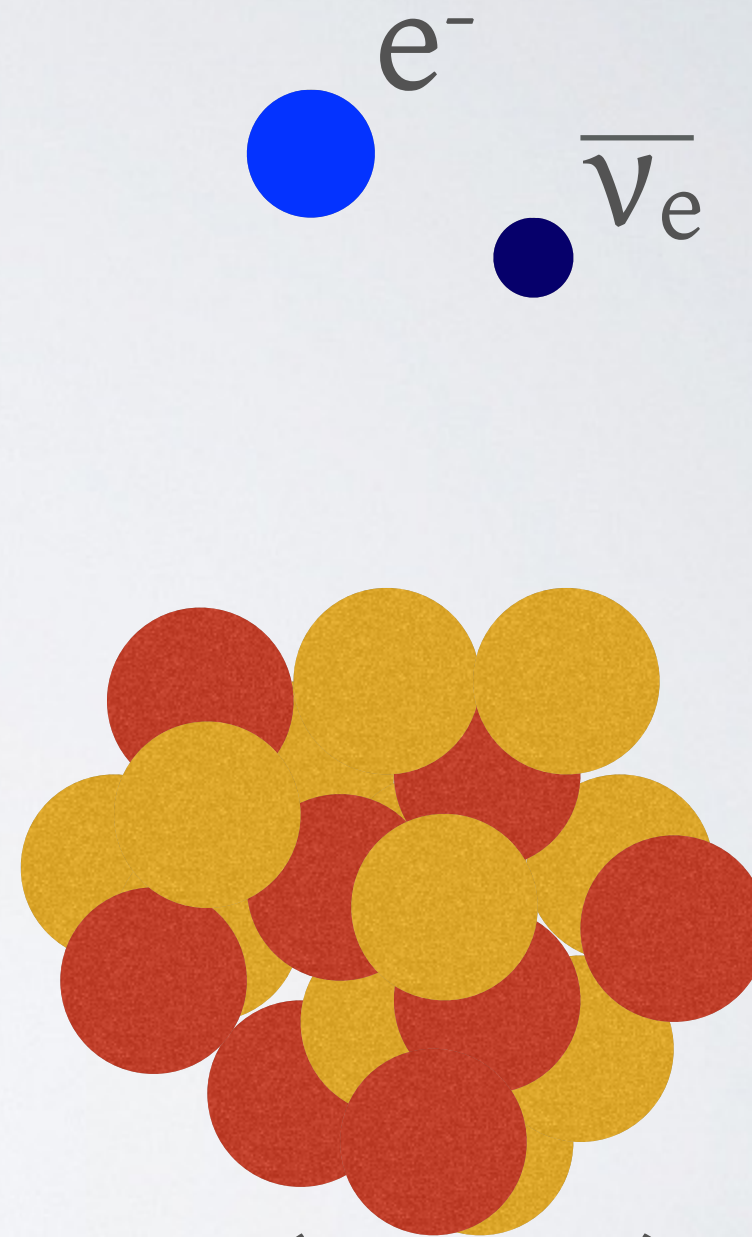
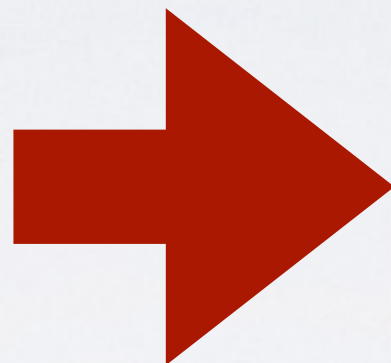
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ β

- Διακρίνεται σε β^- και β^+
- Η β^- είναι εκπομπή ηλεκτρονίου με τη συνοδεία αντinueτρίνου, ενώ η β^+ πρόκειται για ποζιτρόνιο (αντισωματίο ηλεκτρονίου) με τη συνοδεία νετρίνου
- Ουσιαστικά, πραγματοποιείται εντός του πυρήνα μια μετατροπή πρωτονίου σε νετρόνιο ή το ανάποδο
- Υπεύθυνη για τη μετατροπή είναι μια τρίτη αλληλεπίδραση: η **ασθενής πυρηνική** αλληλεπίδραση

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ β^-

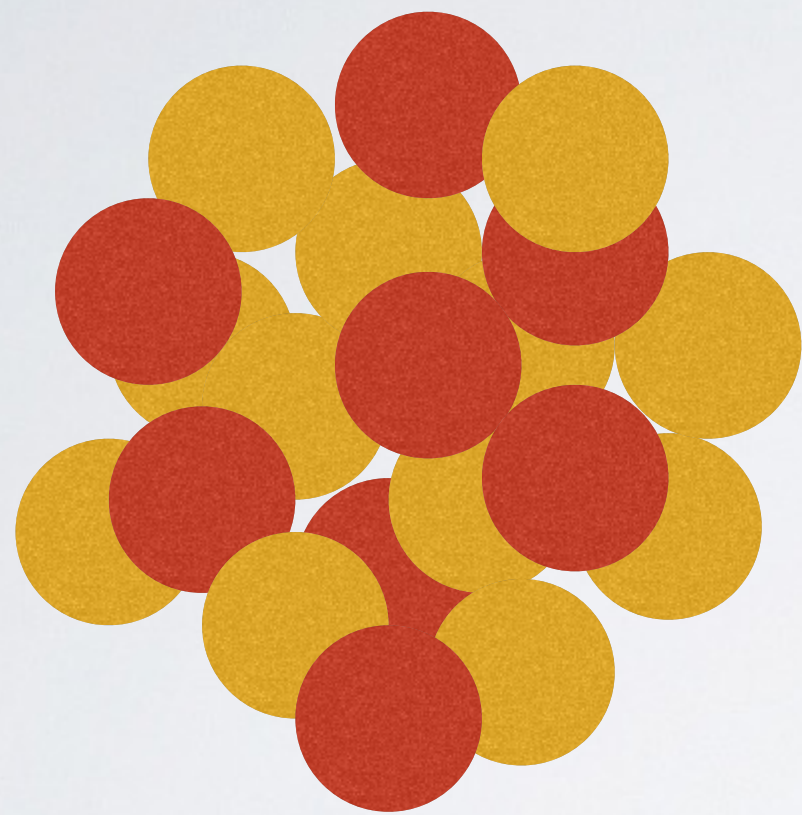


(A, Z)

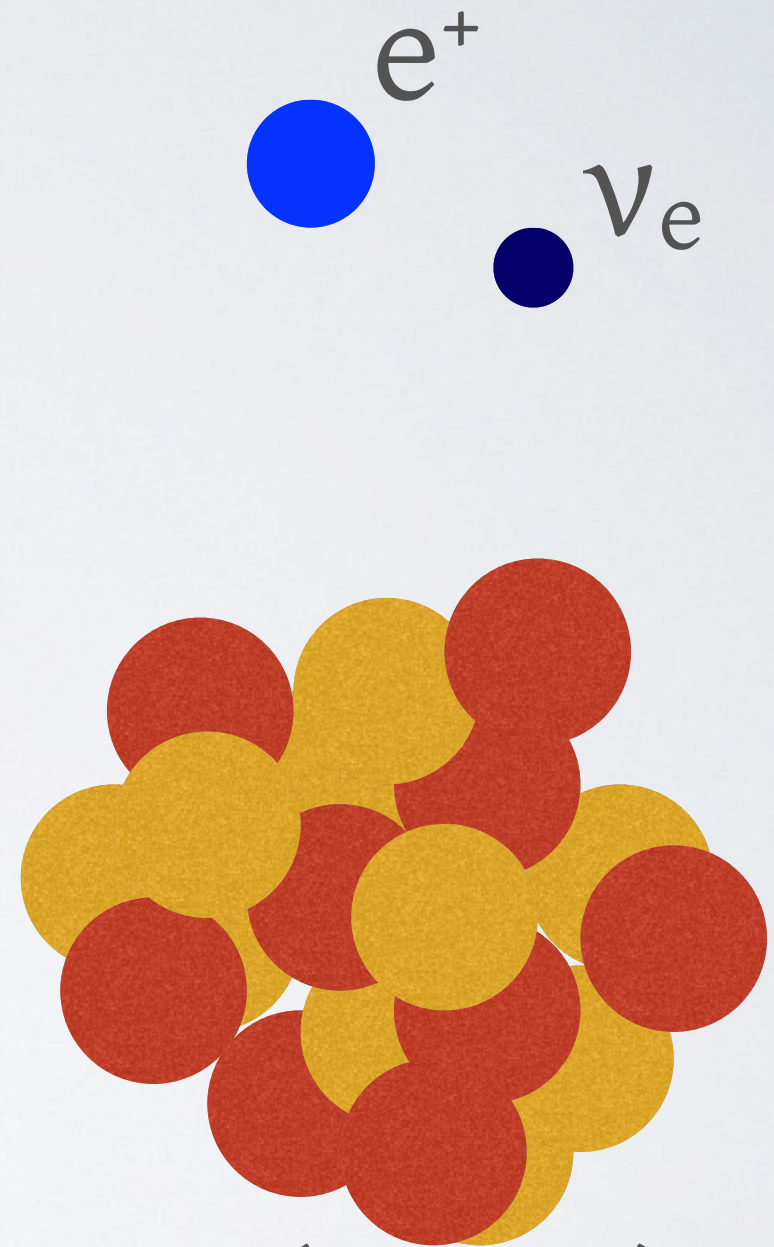
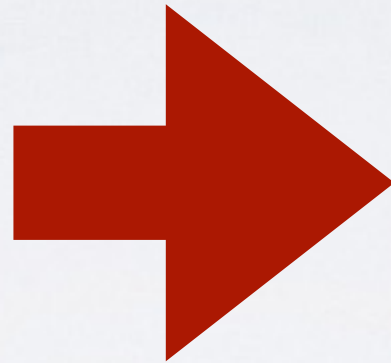


$(A, Z+1)$

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ β^+



(A, Z)



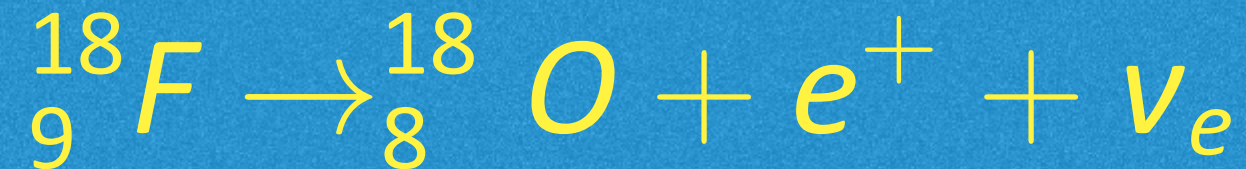
$(A, Z-1)$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

διάσπαση β^-



διάσπαση β^+



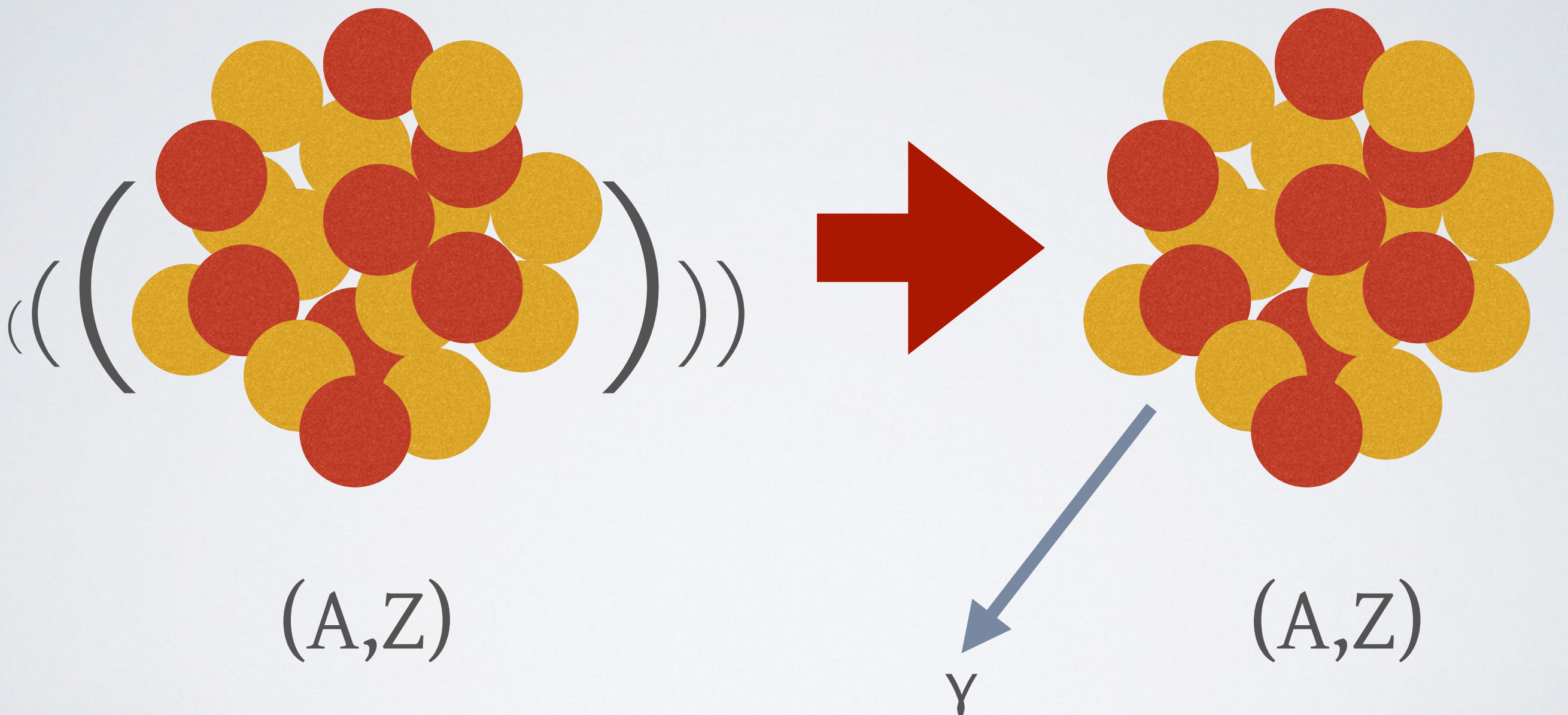
Ηλεκτρονική
σύλληψη



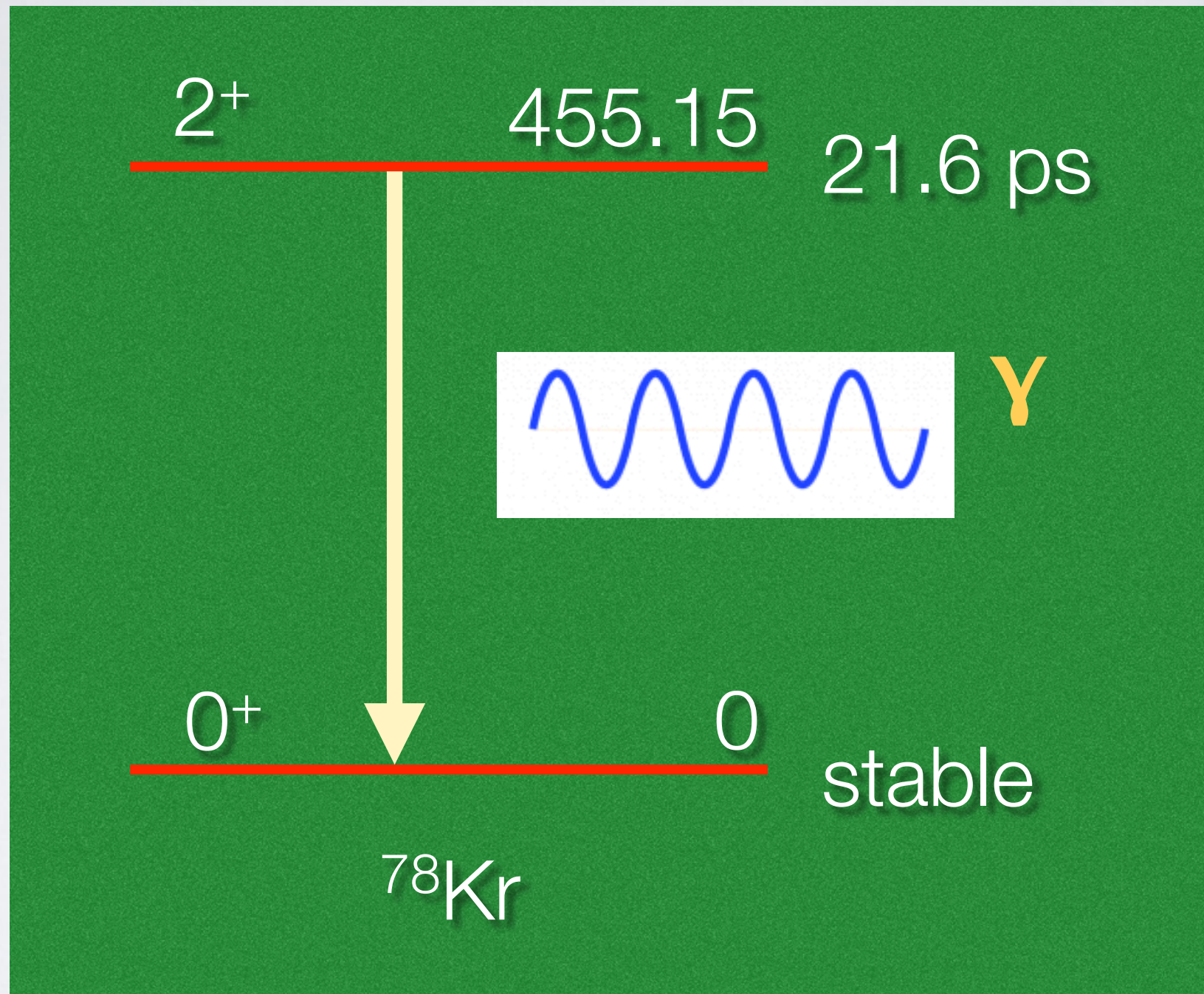
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ γ

- Η ακτινοβολία γ είναι φωτόνια υψηλής ενέργειας
- Τα φωτόνια αυτά εκπέμπονται κατά τη διάρκεια εσωτερικής αποδιέγερσης ενός ισοτόπου
- Το πλεόνασμα ενέργειας E ανάμεσα σε διαφορετικές κβαντομηχανικές στάθμες εκπέμπονται ως φωτόνια συχνότητας ν , όπου ισχύει ότι $E=h\nu$ (h η σταθερά του Planck)

AKTINOBOLIA γ

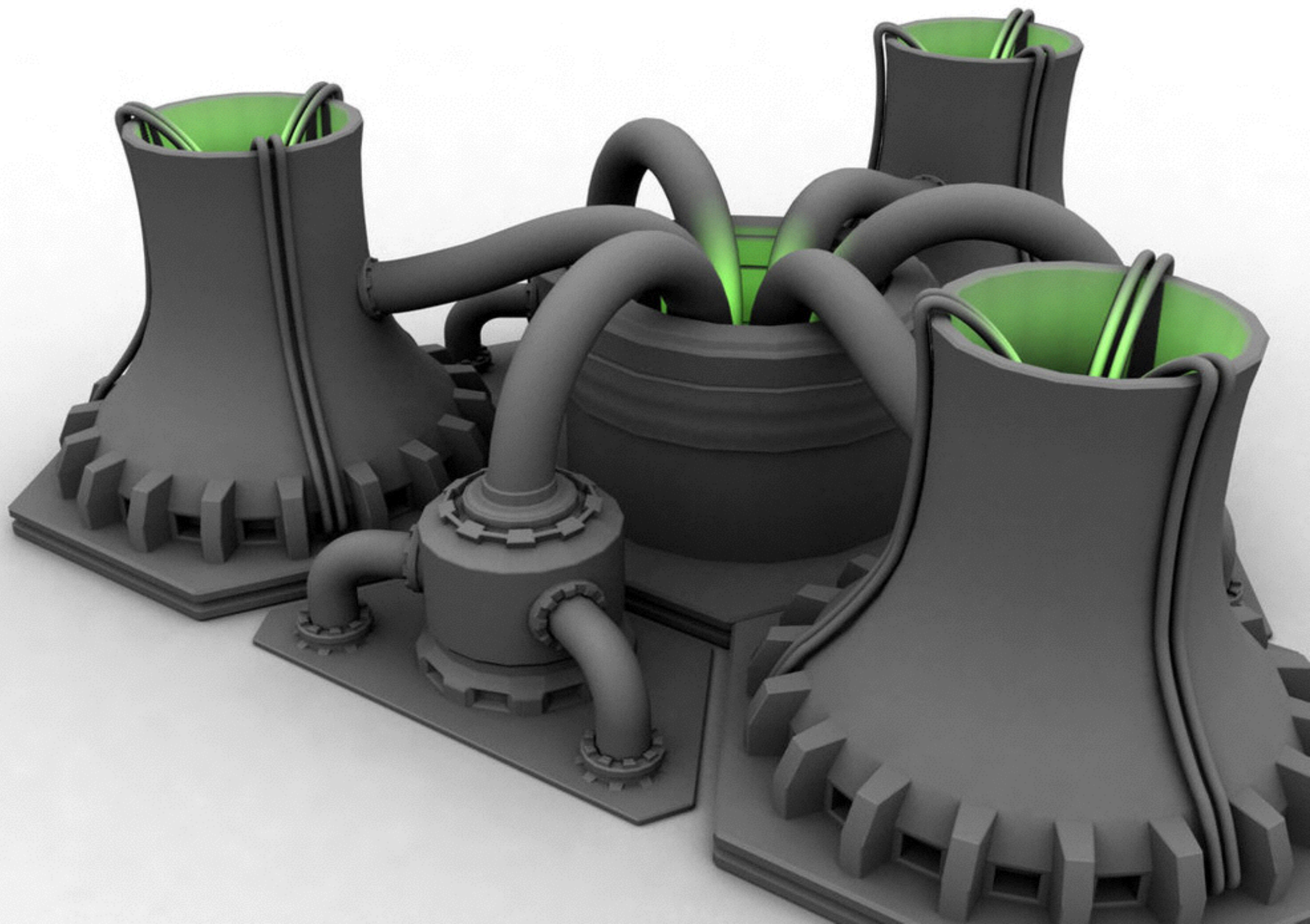


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ



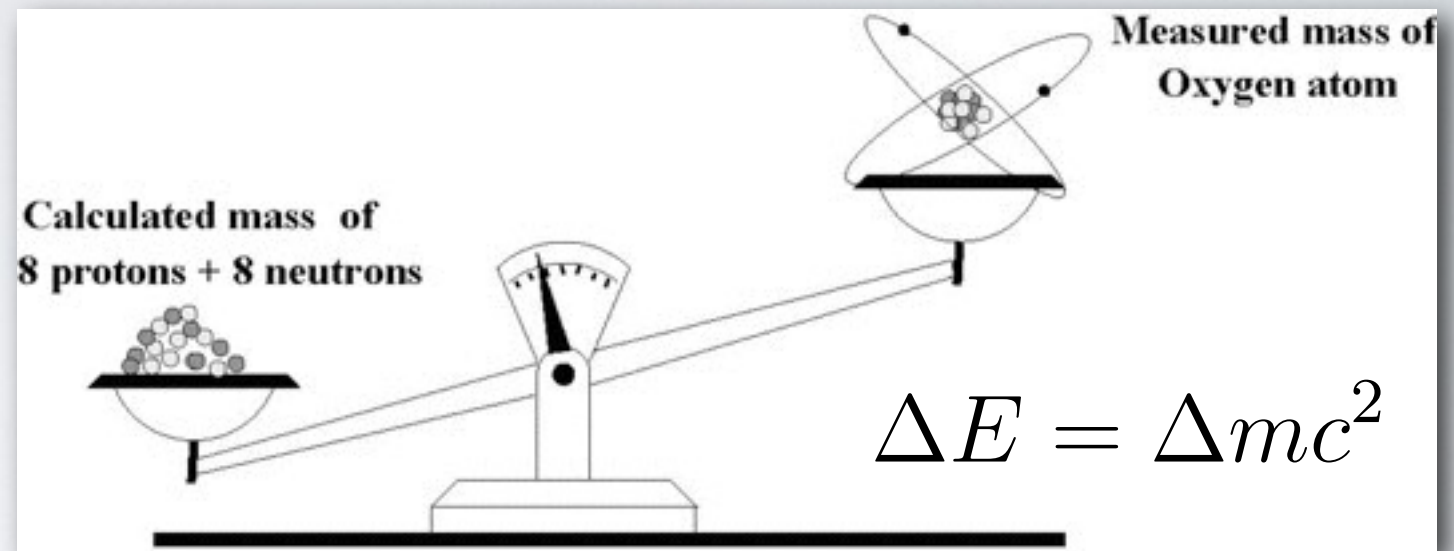
ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ & ΔΙΑΦΟΡΕΣ

- Οι α & β είναι φορτισμένα σωμάτια
- Η γ είναι υψίσυχνο φως, δηλ.
ηλεκτρομαγνητικό κύμα
- α & β έχουν μικρή εμβέλεια κατά την
αλληλεπίδρασή τους με την ύλη
- Η γ -θεωρητικά- έχει άπειρη εμβέλεια. Στην
πράξη είναι ιδιαίτερα διεισδυτική



ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΜΑΖΑΣ

Ελλειμμα μάζας



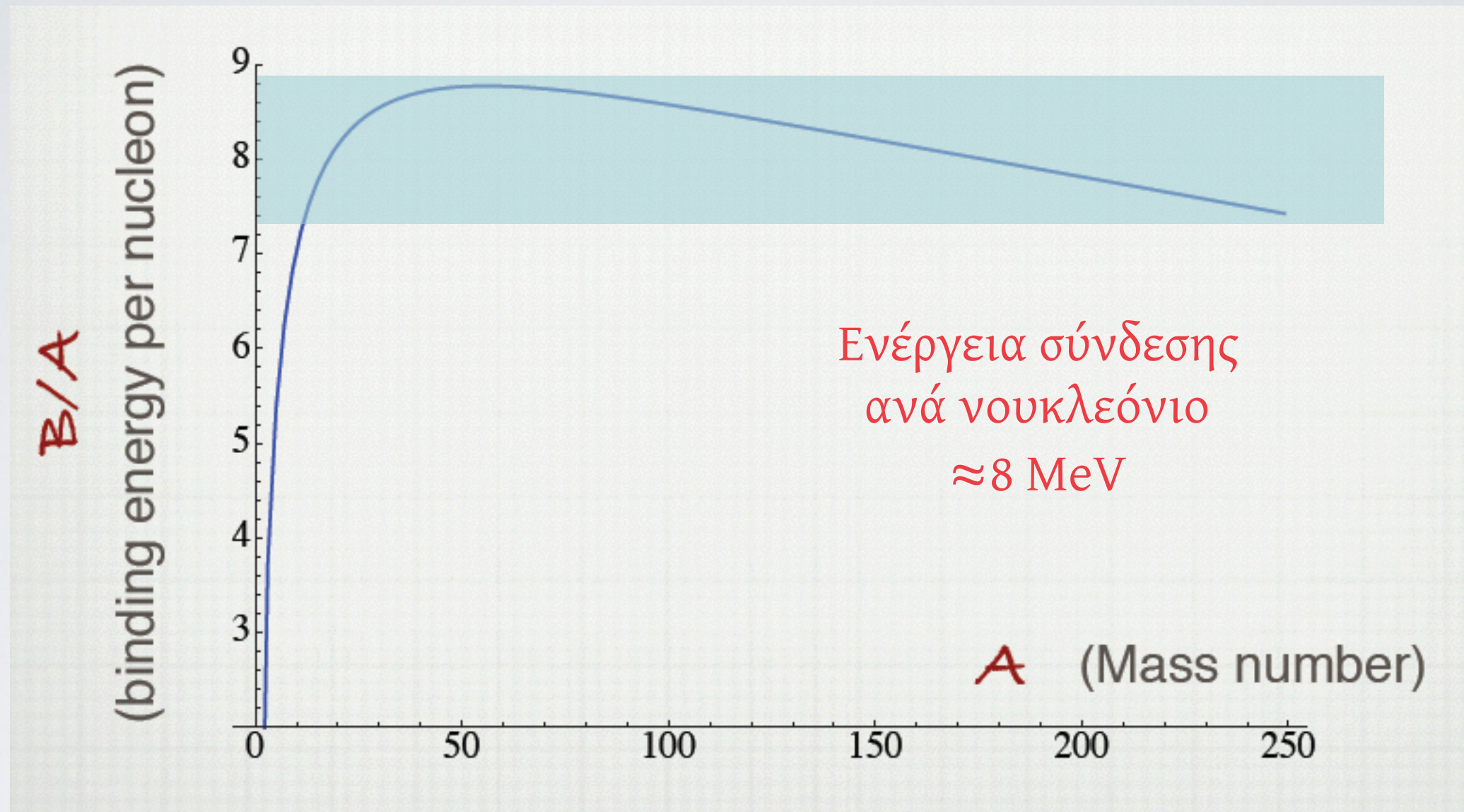
- Ουσιαστικά, ένα μέρος της μάζας των μεμονωμένων νουκλεονίων γίνεται ενέργεια σύνδεσης (υπάρχει έλλειμμα)

$$\Delta m = Zm_H + (A - Z)m_n - Am_A$$

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- Το έλλειμμα μάζας μεταφράζεται σε πλεόνασμα ενέργειας που εκπέμπεται σε κάθε πυρηνικό μετασχηματισμό
- Βασική σχέση είναι η σχέση μάζας-ενέργειας του Einstein, $E=mc^2$
- Τυπικό ποσό ενέργειας είναι **1'000'000 eV**. Σε μια αντίστοιχη χημική αντίδραση (πχ καύση άνθρακα) η ενεργειακή κλίμακα είναι της τάξης του **1 eV !!!**

ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ



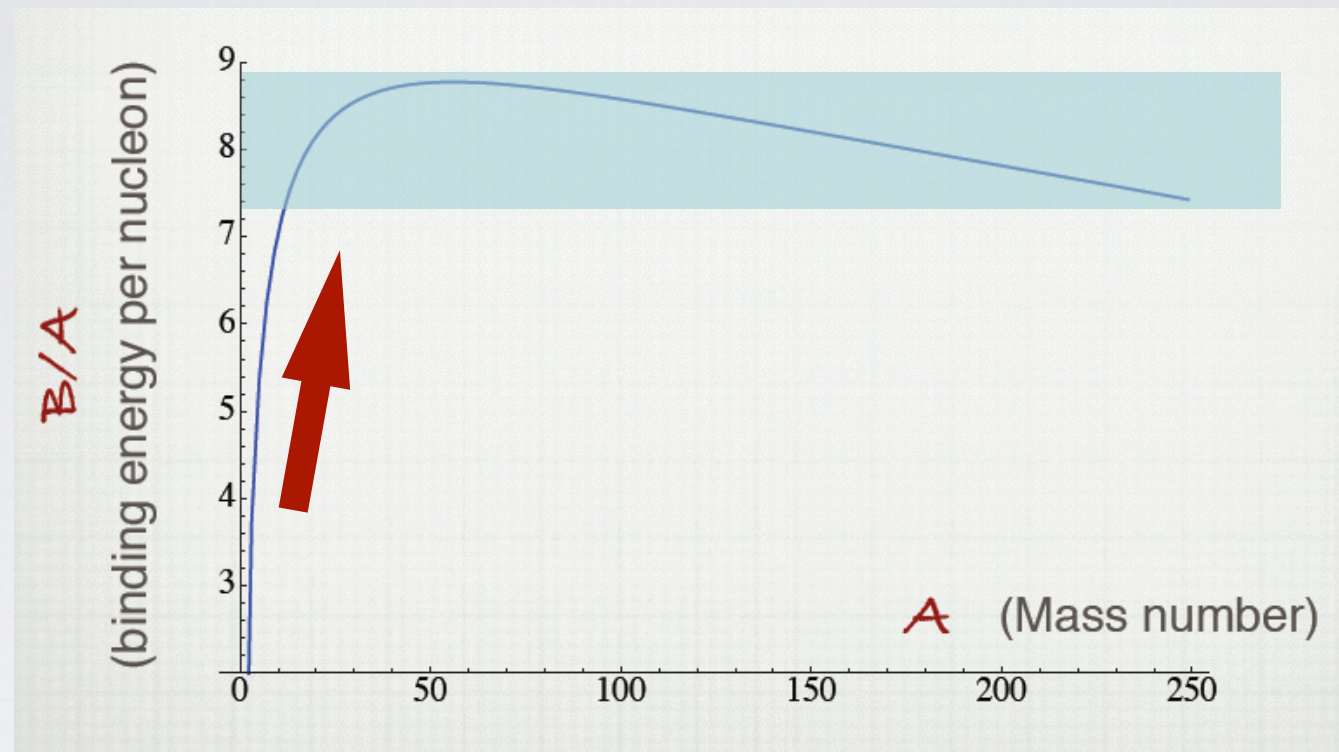
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

- Η ενέργεια σύνδεσης εκφράζει το συνολικό ποσό ενέργειας που απαιτείται για τη διατήρηση πρωτονίων και νετρονίων στον πυρήνα
- Όταν υπάρχει αλλαγή του ισοτόπου, υπάρχει και αλλαγή της συνολικής ενέργειας σύνδεσης
- Το ποσό αυτό εκλύεται. Είναι συνήθως αυτό που ονομάζουμε **πυρηνική ενέργεια**

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

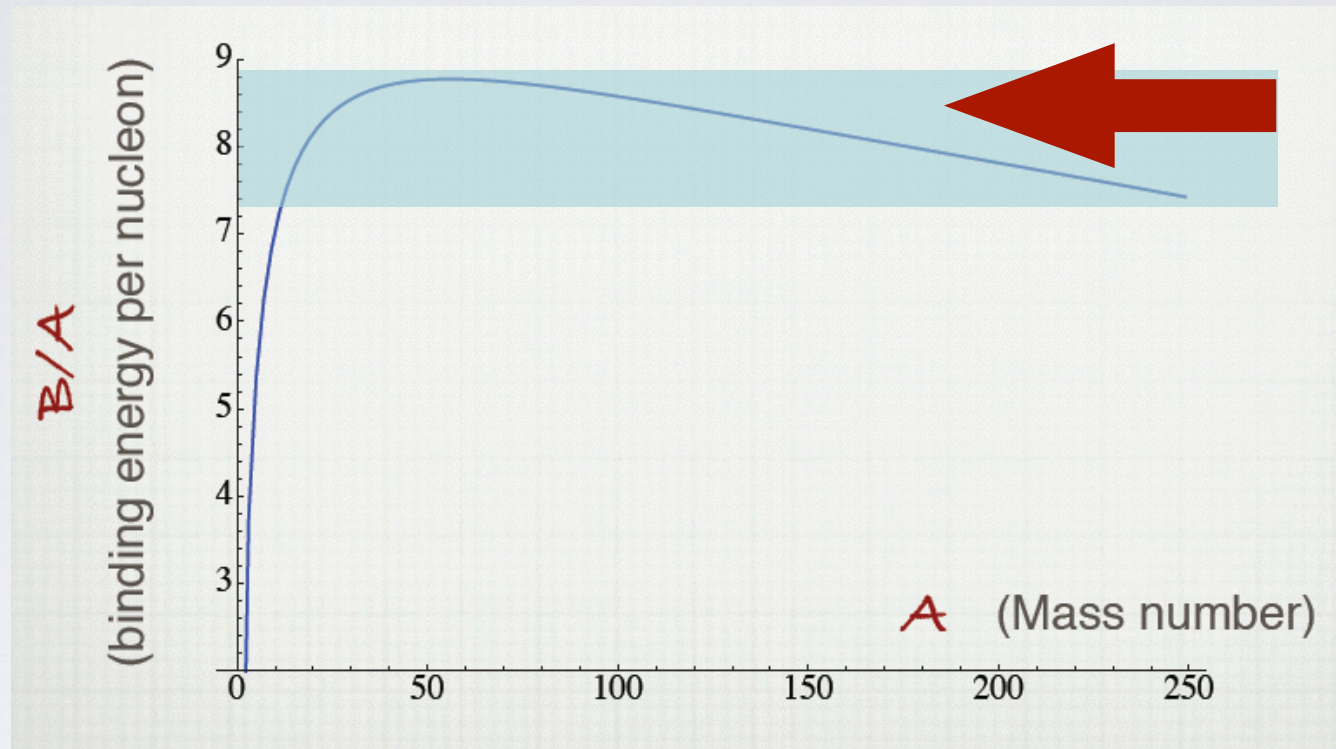
- Η καμπύλη της ενέργειας σύνδεσης προσφέρει δύο βασικές παρατηρήσεις σχετικά με το πώς μπορεί να εκλυθεί ενέργεια:
 - Ενώνοντας ελαφρείς πυρήνες για να φτιάξουμε βαρύτερους μέσω του φαινομένου της **σύντηξης**
 - Διασπώντας βαρείς πυρήνες σχηματίζοντας ελαφρύτερους μέσω του φαινομένου της **σχάσης**

ΣΥΝΤΗΞΗ



- ελαφρείς πυρήνες όπως το δευτέριο μπορούν να εξαναγκασθούν να “λιώσουν” μαζί κατά τη σύντηξη και να φτιάξουν βαρύτερα συστήματα
- Η σύντηξη δεν παράγει απόβλητα. Είναι ο μηχανισμός παραγωγής ενέργειας σε άστρα όπως ο ήλιος

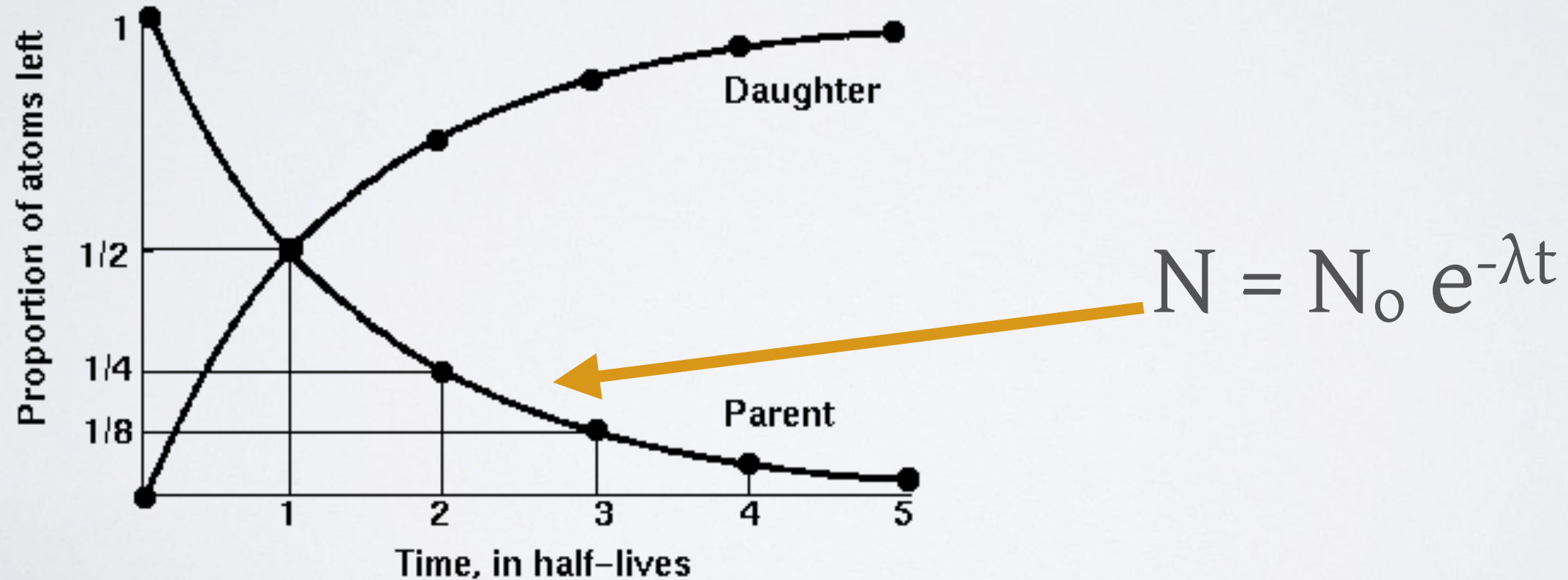
ΣΧΑΣΗ



- βαρείς πυρήνες όπως το ουράνιο μπορούν να διασπασθούν **αυθόρμητα** εκλύοντας ενέργεια
- Η σχάση είναι ο “παραδοσιακός” τρόπος λειτουργίας των εργοστασίων παραγωγής πυρηνικής ενέργειας

ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ

- Κάθε ραδιενεργή διάσπαση ενός αρχικού πληθυσμού όμοιων ισοτόπων υπακούει στο νόμο εκθετικής διάσπασης



ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ

Διαφορική μορφή του εκθετικού νόμου διάσπασης

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Ενεργότητα: ο αριθμός γεγονότων εκπομπής
ακτινοβολίας από μια πηγή

$$C = \lambda N = \frac{dN}{dt}$$

Μονάδα μέτρησης ενεργότητας:

► 1 Bq = 1 διάσπαση / sec (1 **μπεκερέλ**)

► 1 Ci = $3.7 \cdot 10^{10}$ διασπάσεις / sec (1 **κιουρί**)

ΣΤΑΘΕΡΑ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ λ

$$\lambda = 1/\tau$$

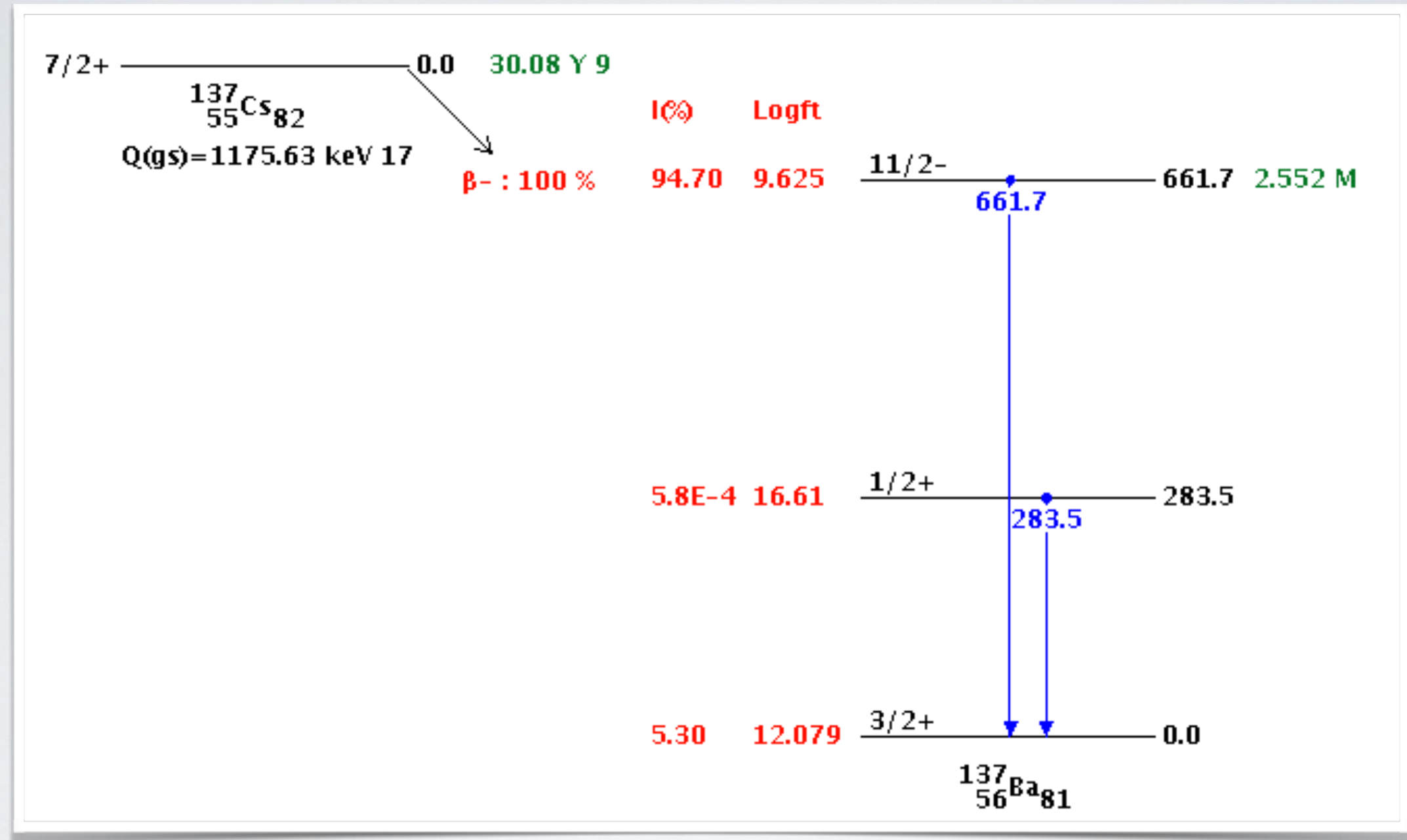
$\tau \longrightarrow$ μέσος χρόνος ζωής

$t_{1/2} \longrightarrow$ χρόνος ημιζωής

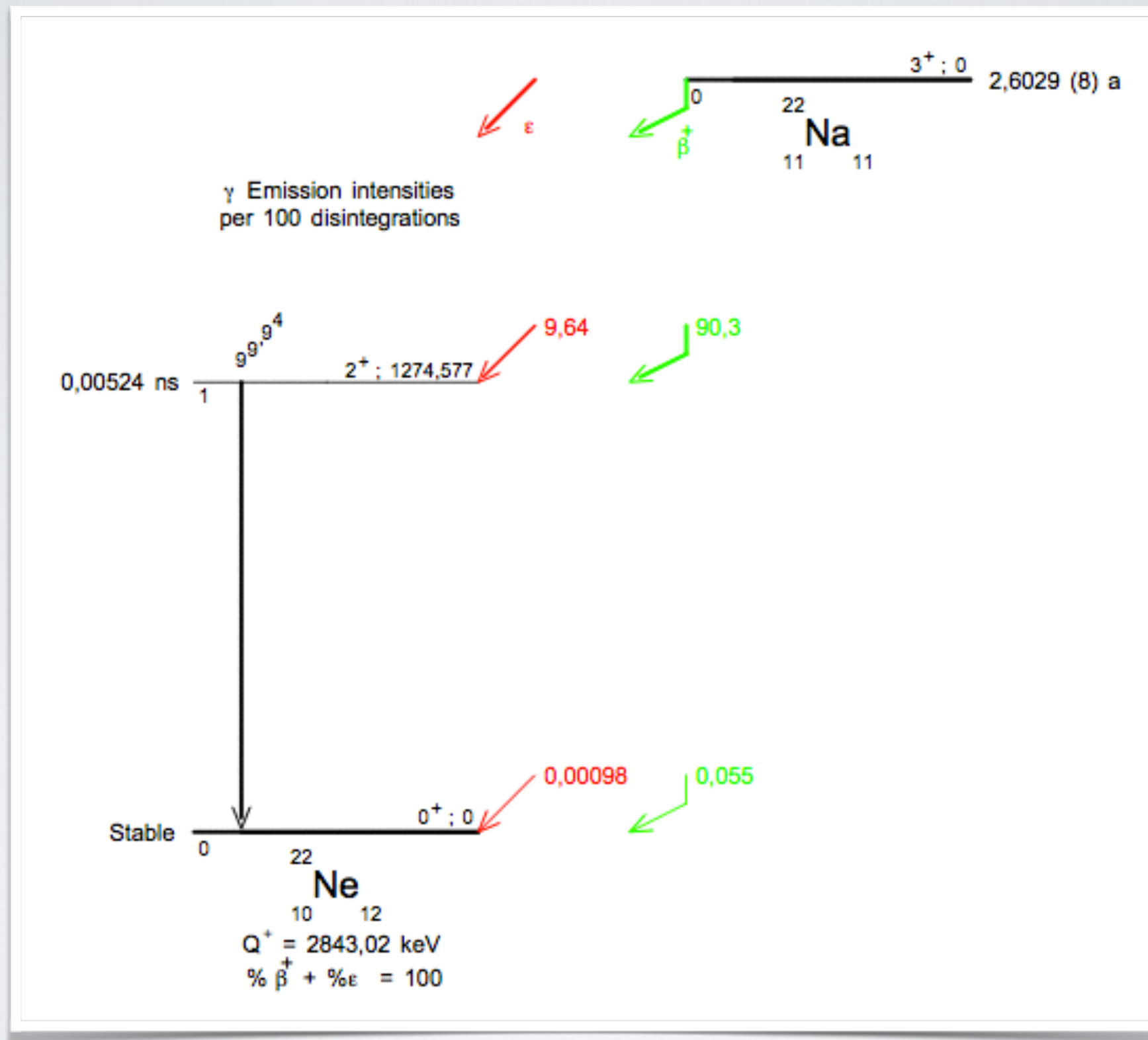
Ο χρόνος ημιζωής είναι ο χρόνος για τον οποίο έχουν απομείνει οι μισοί από τους αρχικούς πυρήνες

$$t_{1/2} = \ln 2 * \tau = 0.693\tau \longrightarrow \lambda = 0.693 / t_{1/2}$$

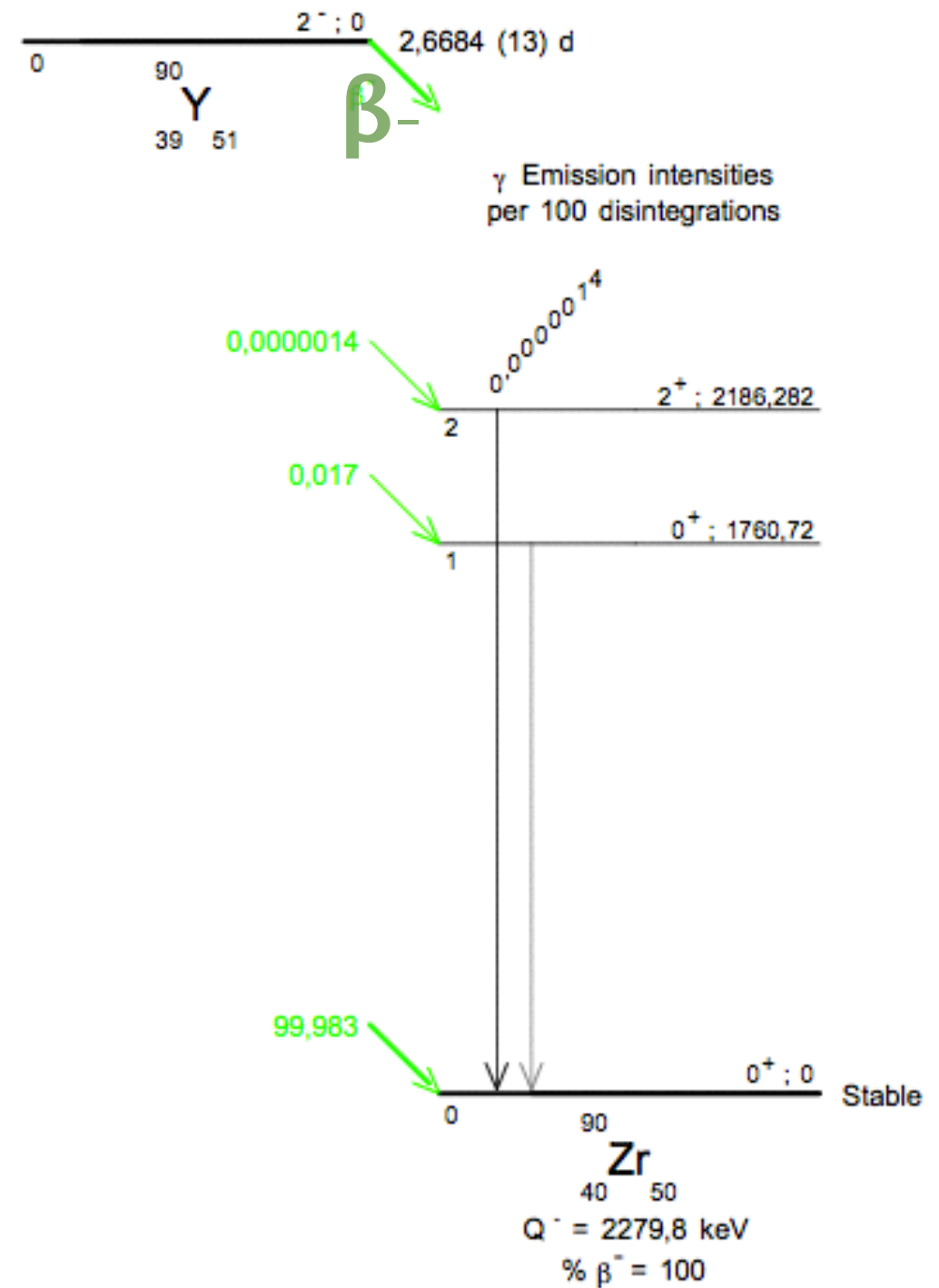
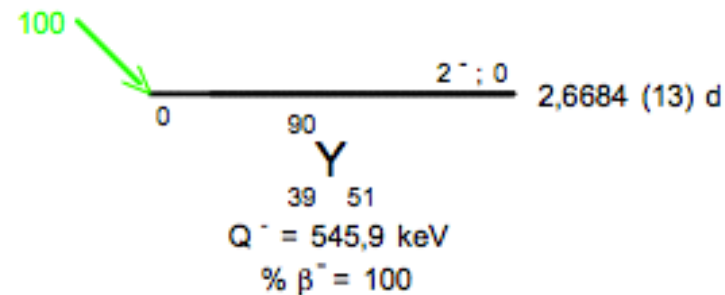
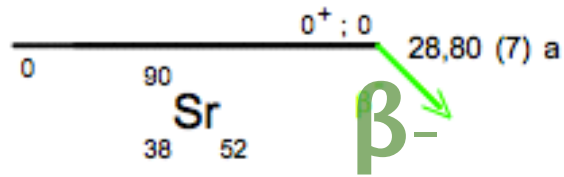
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ

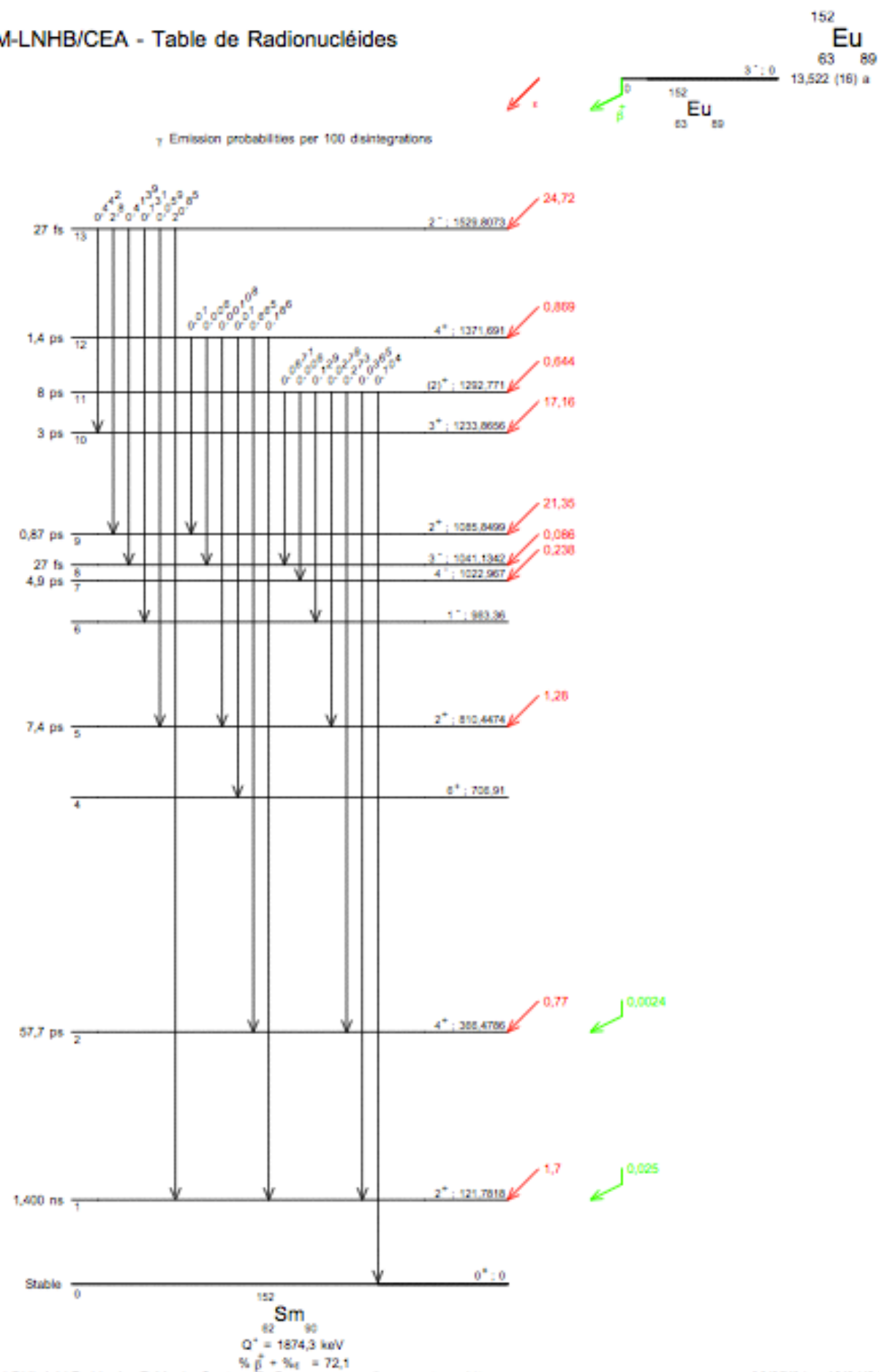


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ





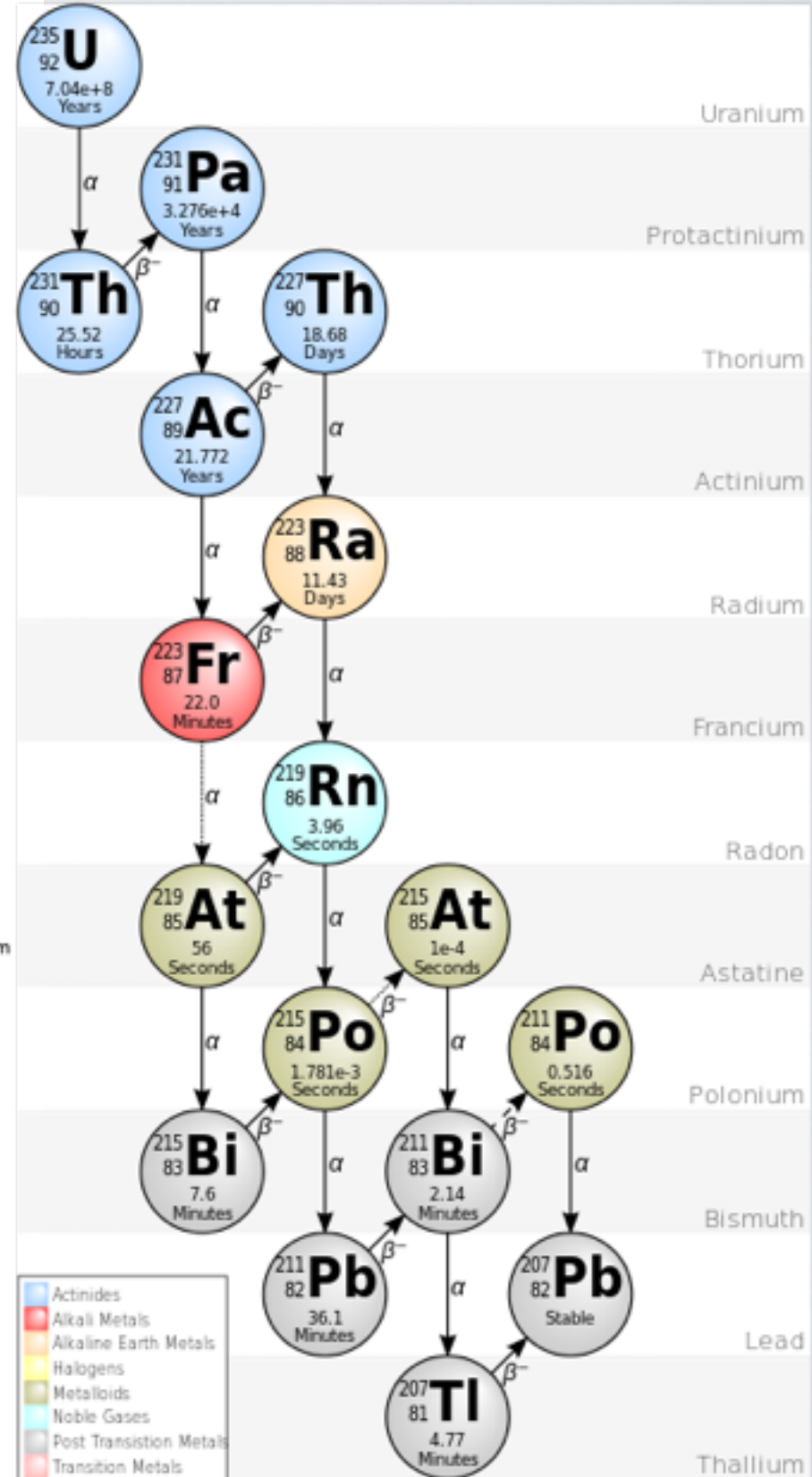
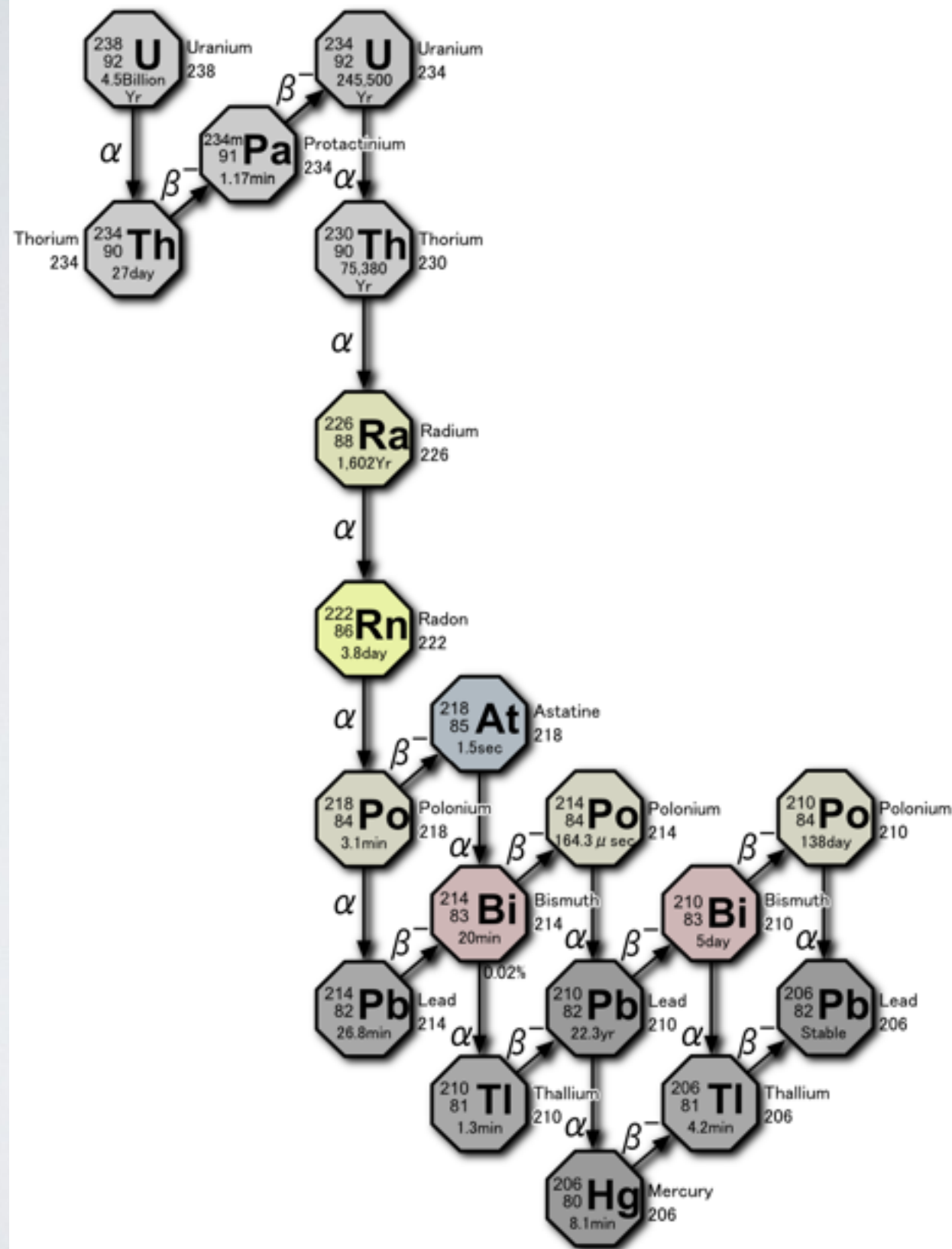
ΑΛΥΣΙΔΕΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ

- Από έναν αρχικό **μητρικό** πυρήνα προκύπτει ένας **θυγατρικός**, ο οποίος μπορεί να είναι είτε σταθερός (δηλ. δε διασπάται), είτε να είναι ασταθής
- Αν είναι και αυτός ασταθής τότε παράγεται νέος θυγατρικός πυρήνας. Το φαινόμενο μπορεί να συνεχισθεί όσο δημιουργούνται ασταθείς θυγατρικοί
- Δημιουργούνται έτσι **αλυσίδες διάσπασης** από έναν αρχικό μητρικό πυρήνα

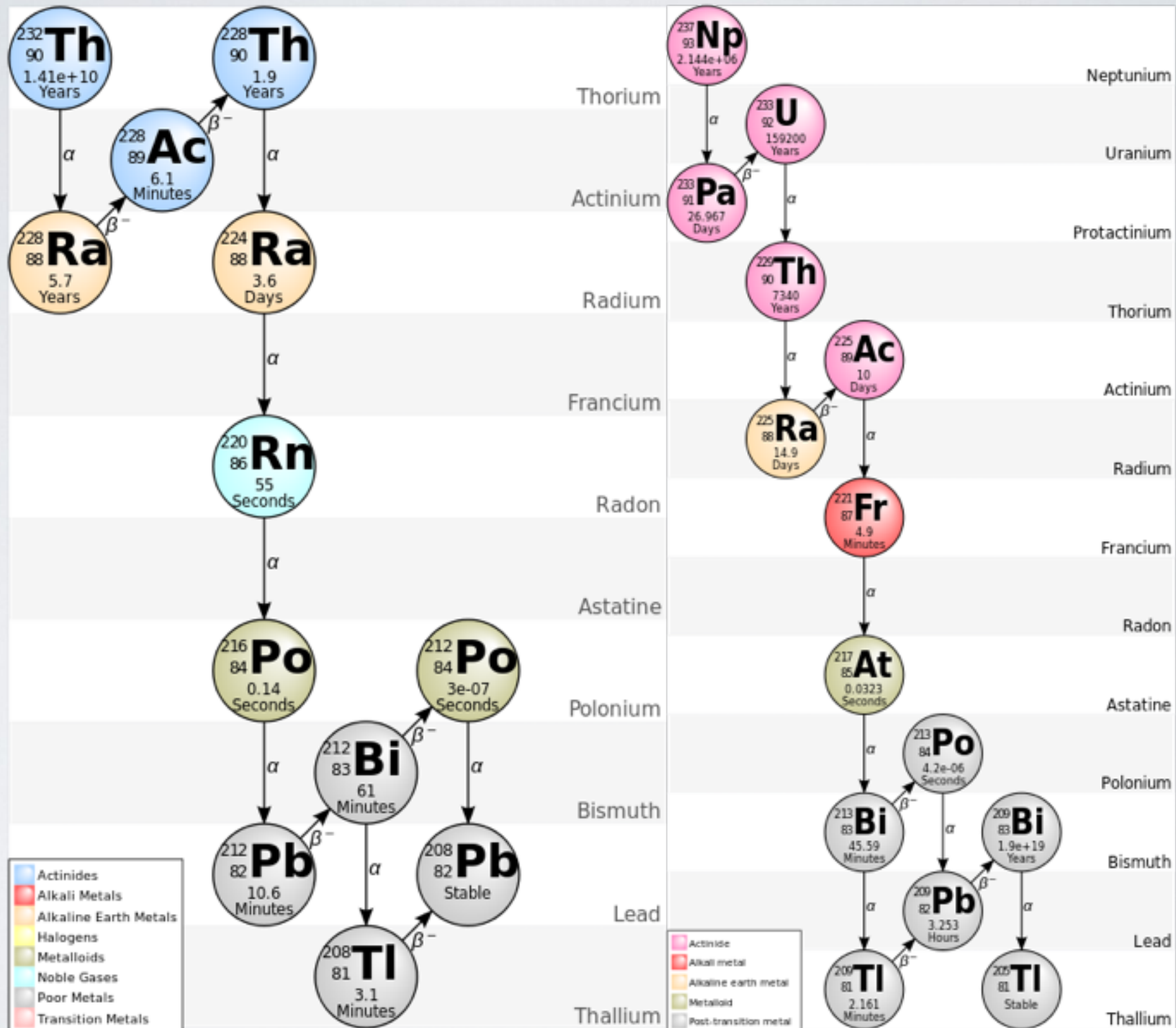
ΑΛΥΣΙΔΕΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

- Οι συγκεντρώσεις όλων των στοιχείων στο Σύμπαν προέρχονται από διεργασίες που δημιούργησαν αρχικά τα βαριά στοιχεία (π.χ. ουράνιο), τα οποία με τη σειρά τους διασπάσθηκαν
- Υπάρχουν **τέσσερις αλυσίδες διάσπασης** στη φύση με μητρικούς πυρήνες: ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{237}Np
- Λόγω χρόνου ημιζωής πολύ μικρότερου της ηλικίας της Γης, η σειρά του ^{237}Np έχει εκλείψει και παρατηρείται μόνο ο τελικός σταθερός θυγατρικός πυρήνας της (^{205}Tl)

ΑΛΥΣΙΔΕΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ



ΑΛΥΣΙΔΕΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ



ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ



$$\frac{dN_1(t)}{dt} = -\lambda_1 N_1(t)$$

ασταθής

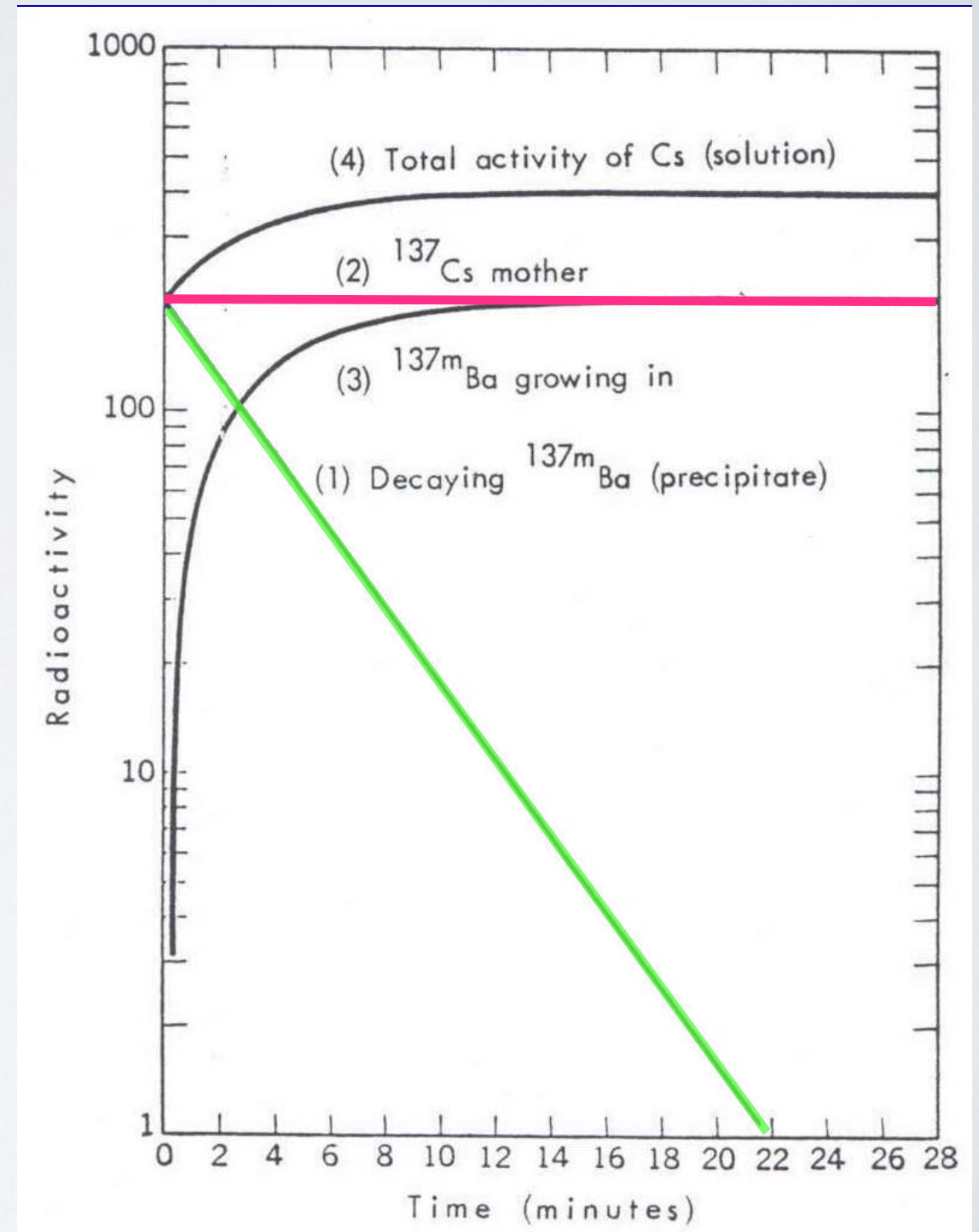
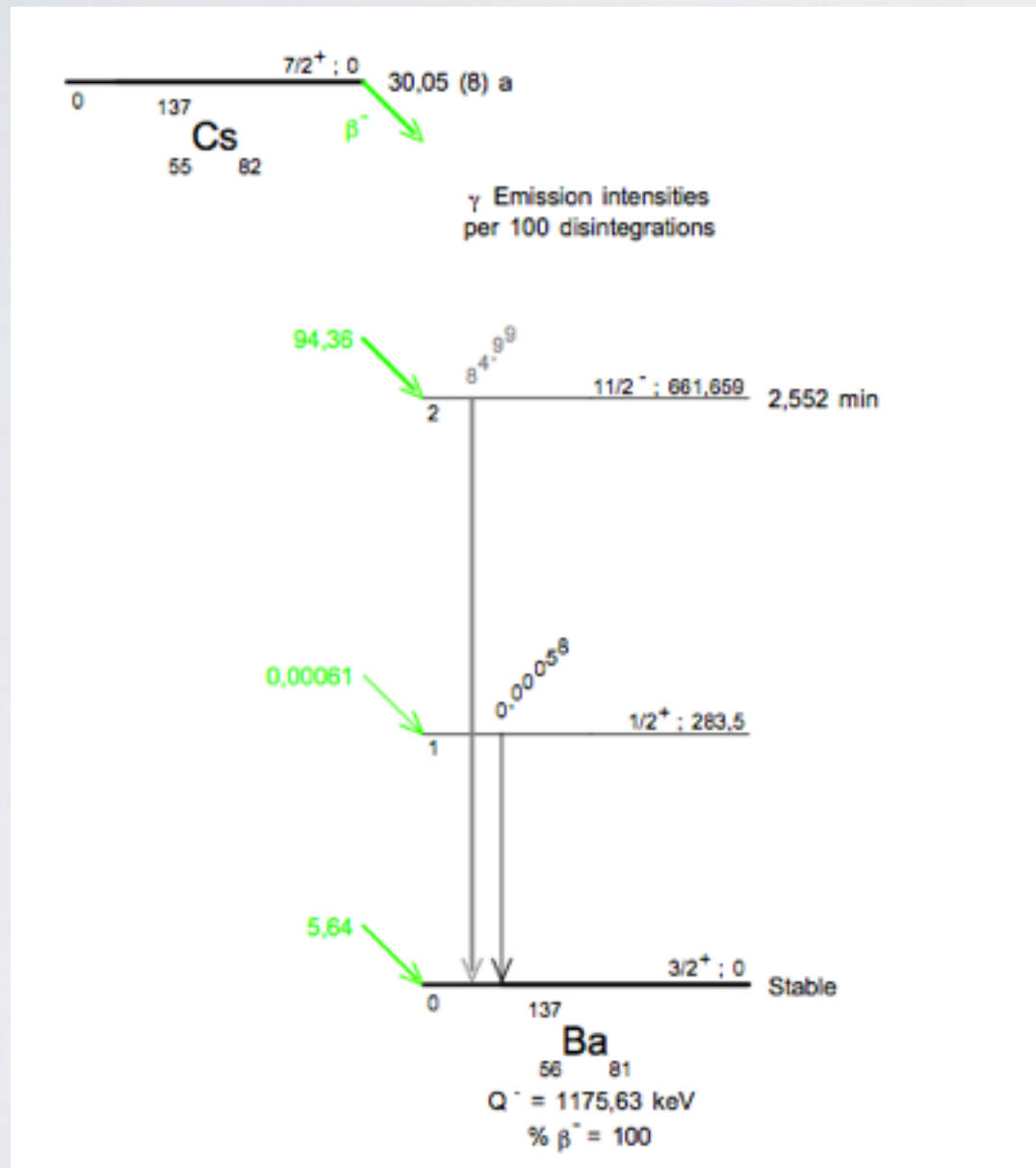
$$\frac{dN_2(t)}{dt} = -\lambda_2 N_2(t) + \lambda_1 N_1(t)$$

ασταθής

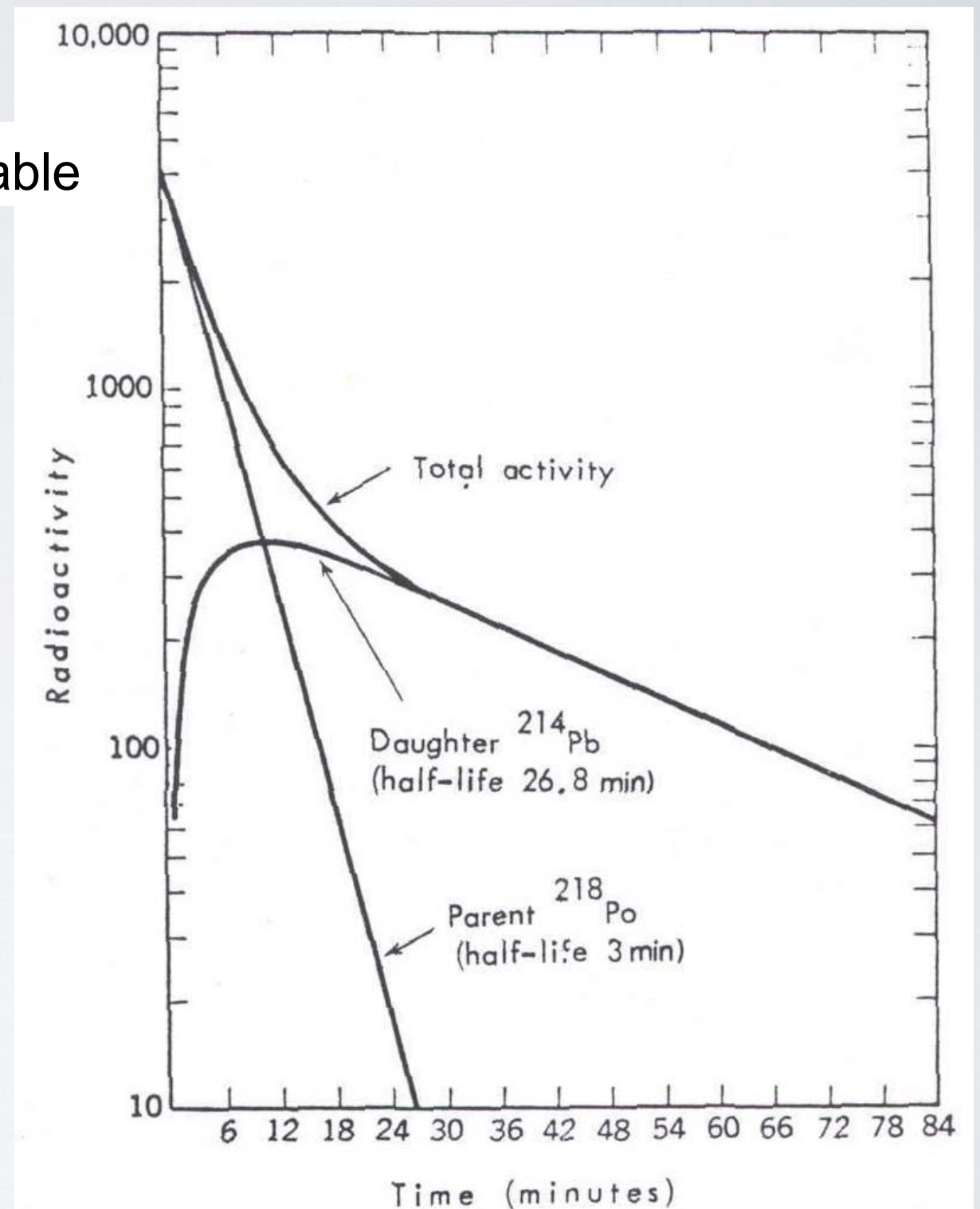
$$\frac{dN_3(t)}{dt} = +\lambda_2 N_2(t)$$

σταθερός

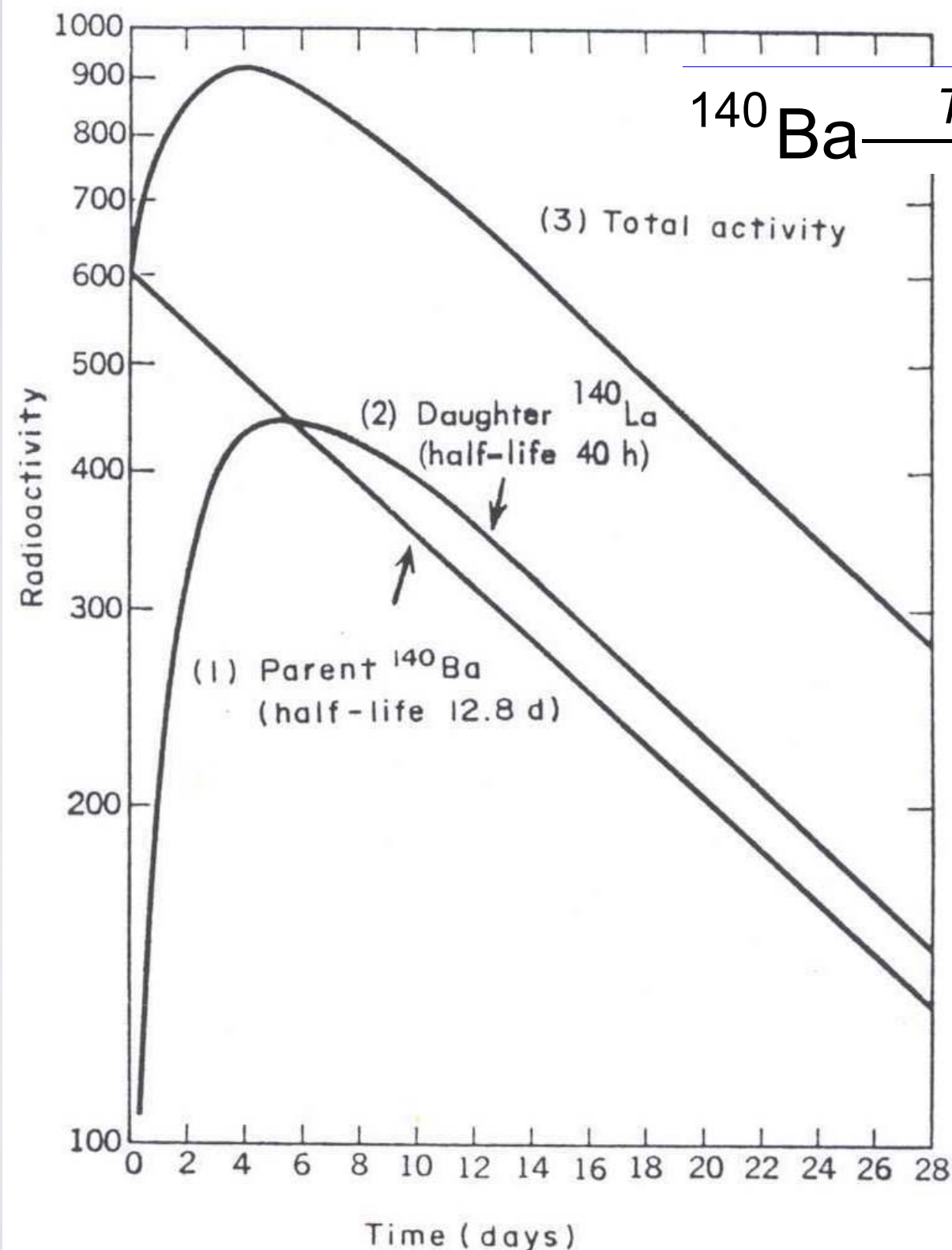
$$\lambda_{\mu\eta\tau} \ll \lambda_{\theta\upsilon\gamma}$$

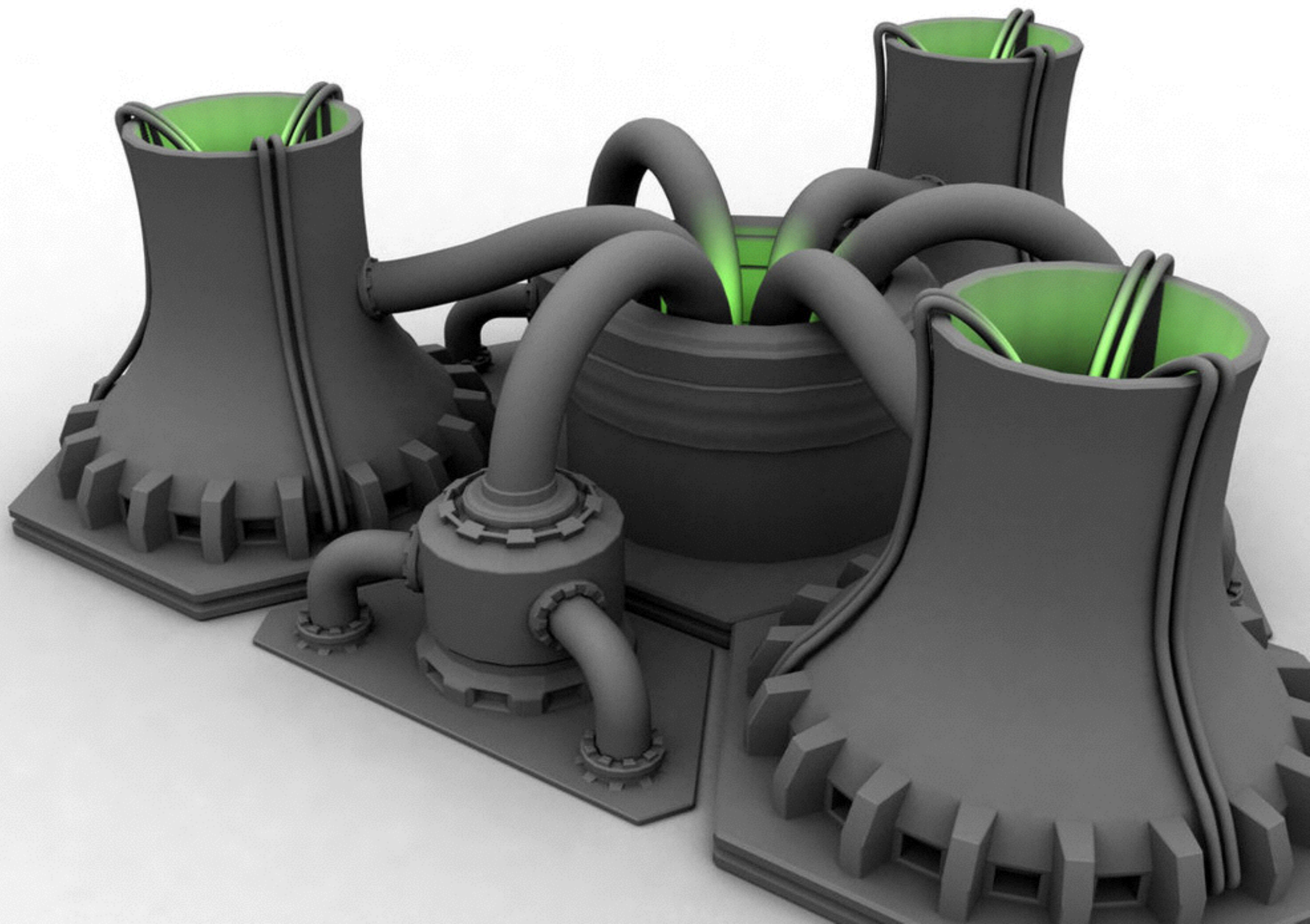


$$\lambda_{\mu\eta\tau} \gg \lambda_{\theta\upsilon\gamma}$$



$$\lambda_{\mu\eta\tau} \leq \lambda_{\theta\upsilon\gamma}$$



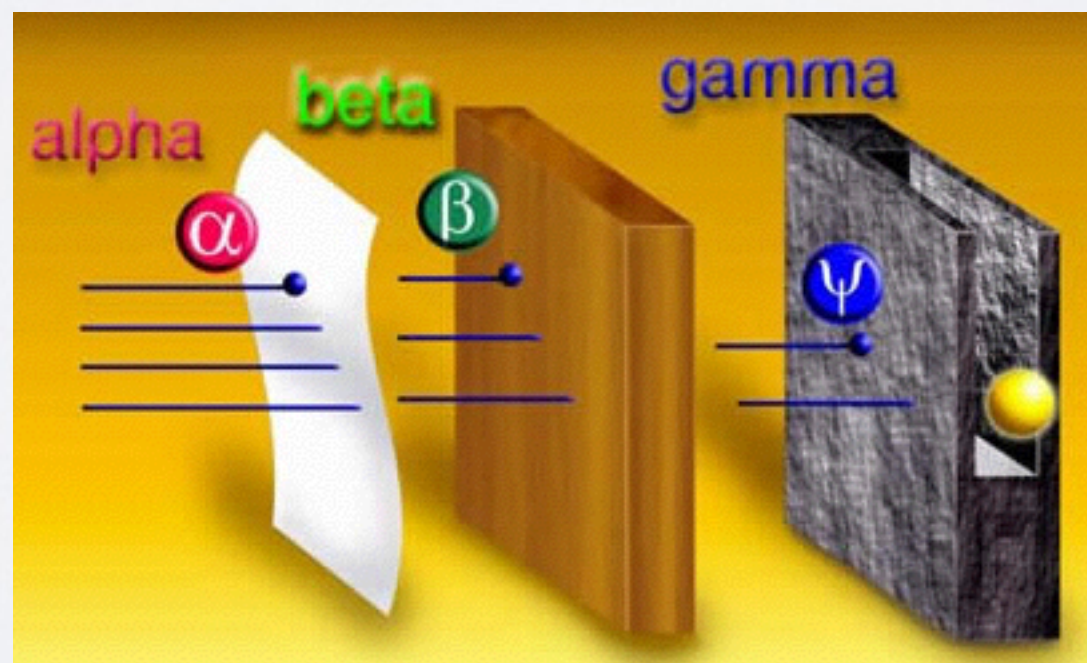


ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ

- Οι ακτινοβολίες αλληλεπιδρούν με την ύλη
- Κατά την αλληλεπίδραση εναποθέτουν ενέργεια
- Ανάλογα με το είδος της ακτινοβολίας, το ποσό της εναποτιθέμενης ενέργειας διαφέρει
- Η ενέργεια που εναποτίθεται ανά μονάδα μάζας της ύλης ονομάζεται **δόση (μονάδα 1 Gy)**

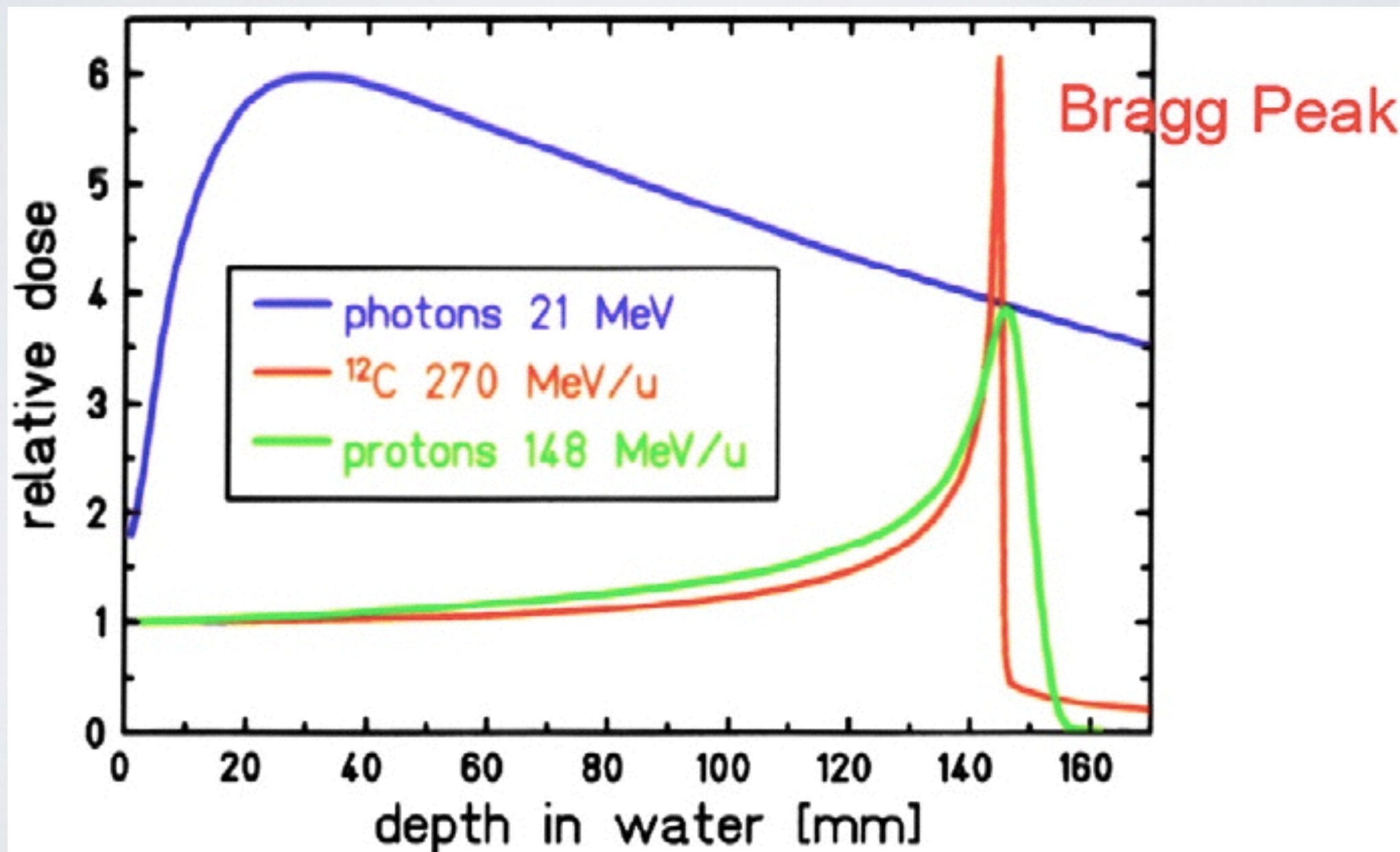
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ

- Υπάρχει διαφοροποίηση τόσο στους μηχανισμούς όσο και στο μέγεθος της δόσης ανάμεσα σε φορτισμένα σωμάτια (α , e) και αφόρτιστα (γ , νετρόνια)



ΚΑΜΠΥΛΗ BRAGG

- Δίνει την κατανομή της δόσης σε σχέση με το βάθος διείσδυσης της ακτινοβολίας στην ύλη

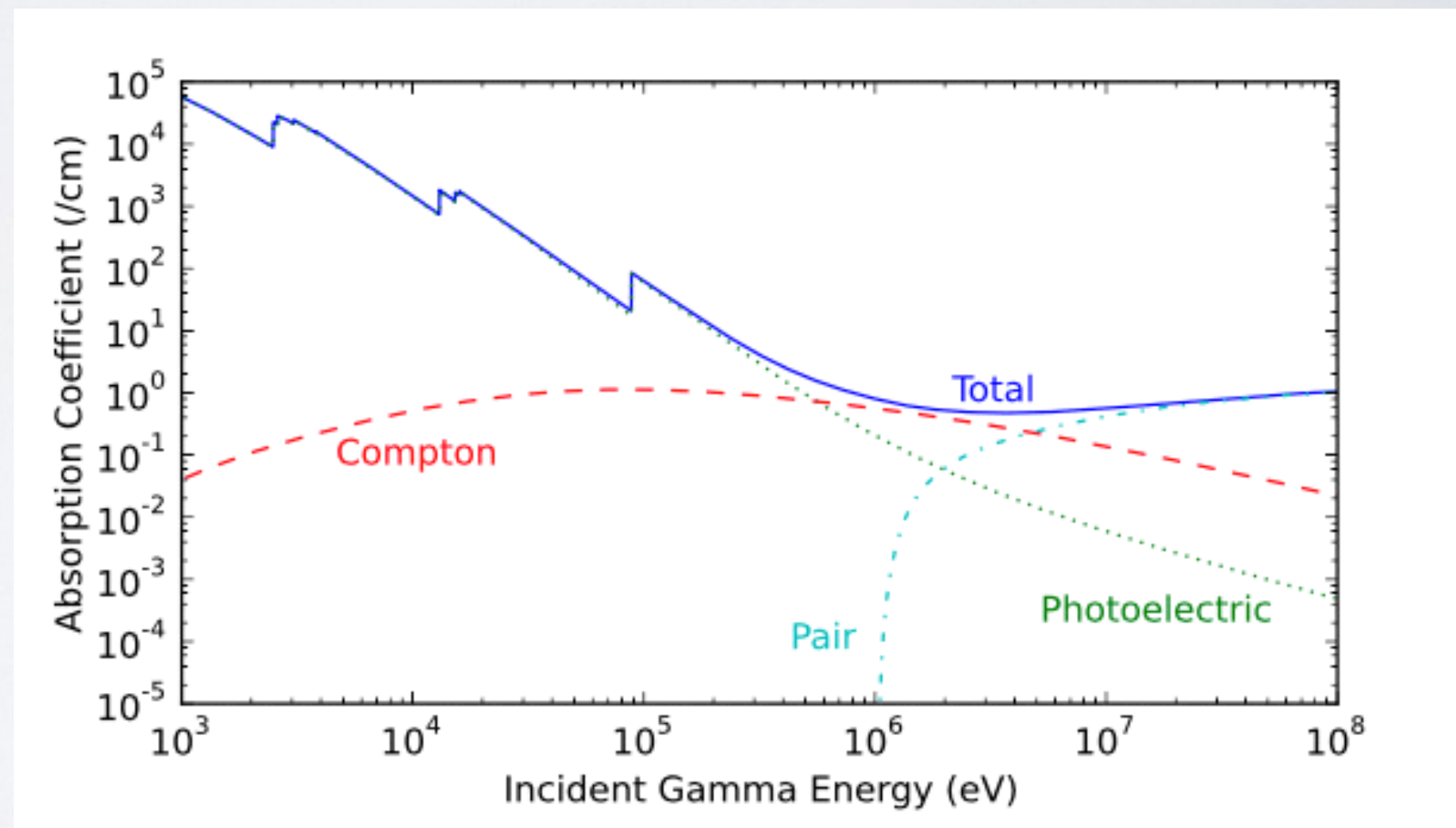


ΕΜΒΕΛΕΙΑ

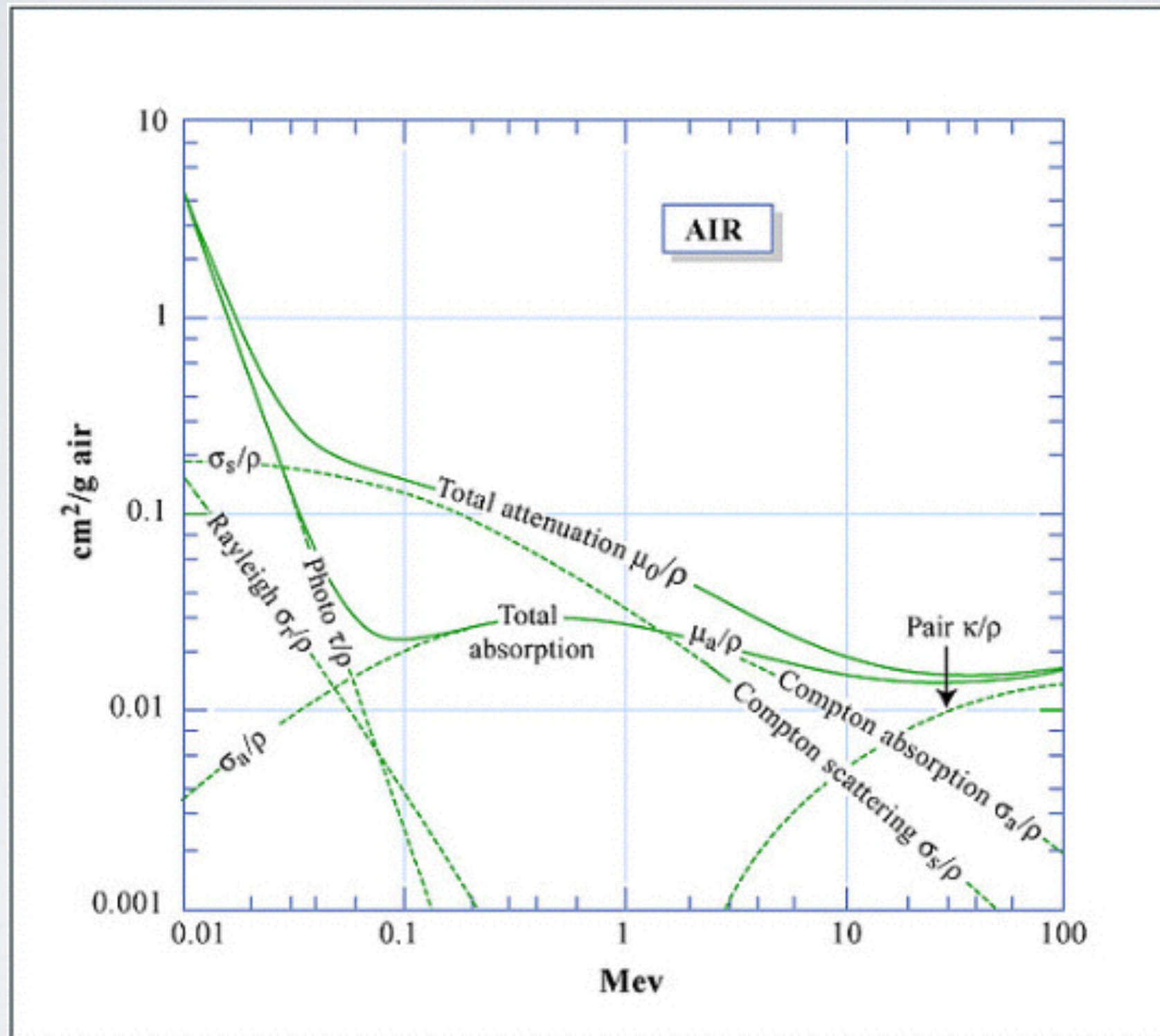
- Τα σωμάτια α στον αέρα έχουν εμβέλεια **μερικά mm**
- Τα σωμάτια β στον αέρα έχουν εμβέλεια **μερικά cm**
- Τα φωτόνια γ στον αέρα έχουν μεγάλη εμβέλεια,
- Γενικά η έντασης της ακτινοβολίας υπακούει στο **νόμο του αντίστροφου τετραγώνου** ως προς την απόσταση από την πηγή εκπομπής $\sim (1/r^2)$

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ

- Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο
- Φαινόμενο Compton
- Δίδυμη γένεση



ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ

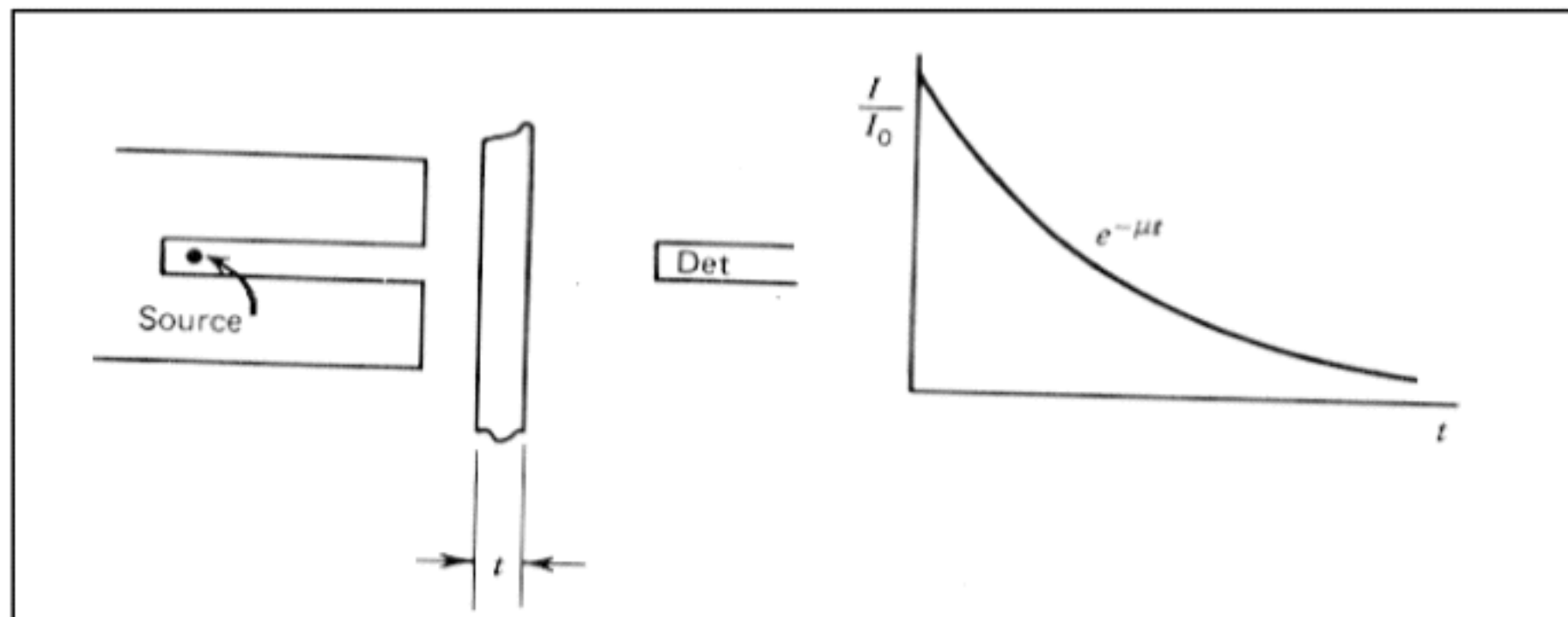


ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ

- Η παρεμβολή υλικών ανάμεσα σε πηγή ακτινοβολίας και το ακτινοβολούμενο υλικό οδηγεί σε **εξασθένιση** της ακτινοβολίας και υπό συνθήκες μείωση της απορροφούμενης δόσης. Η εξασθένιση χαρακτηρίζεται από το συντελεστή γραμμικής εξασθένισης, μ

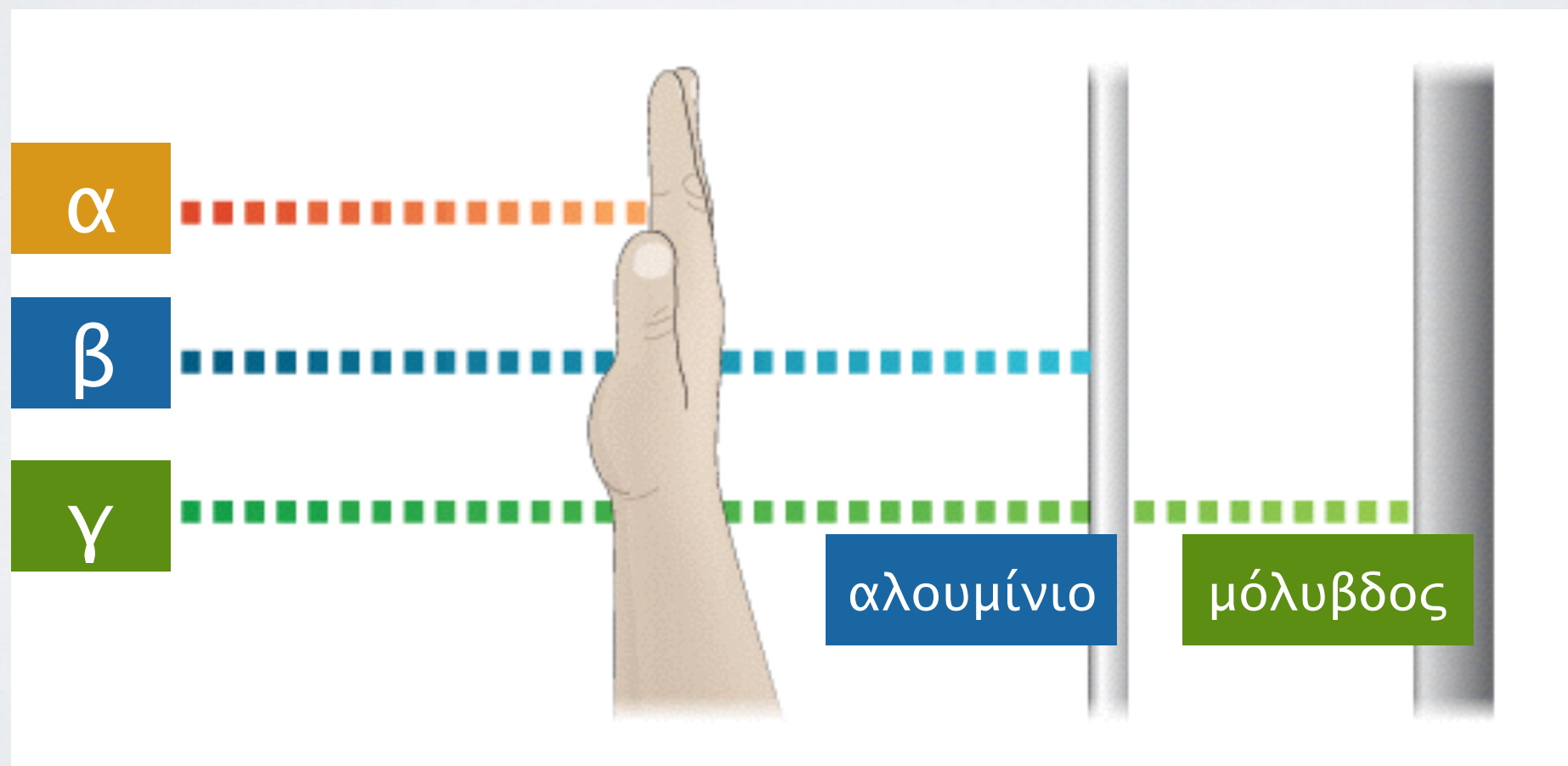
$$I = I_0 e^{-\mu t}$$

$$\mu = \tau \text{ (photoelectric)} + \sigma \text{ (Compton)} + \kappa \text{ (pair)}$$



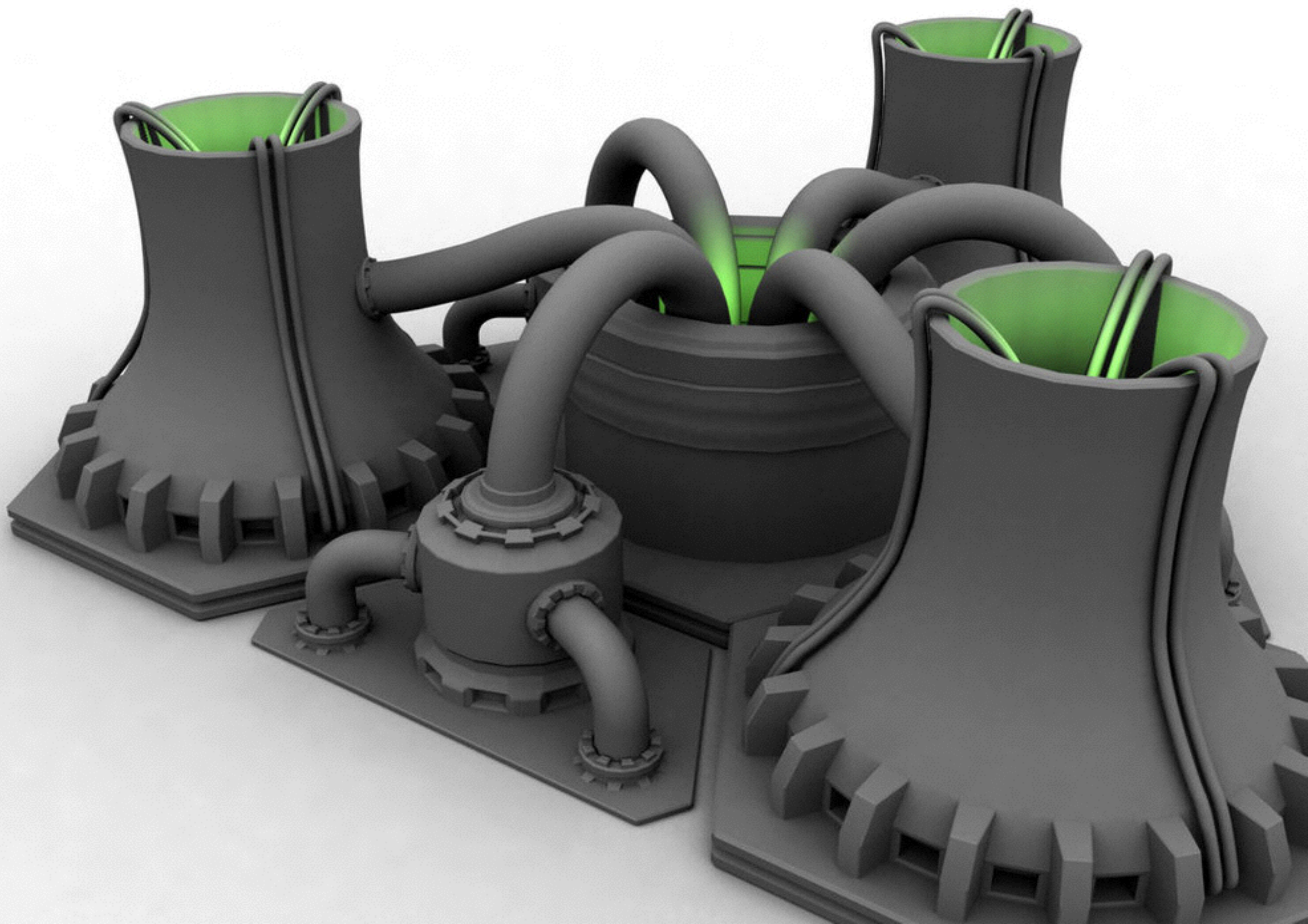
ΘΩΡΑΚΙΣΗ

- Το φαινόμενο της εξασθένισης είναι θεμελιώδες για την επιλογή θωράκισης και τον τρόπο προστασίας από τις ακτινοβολίες



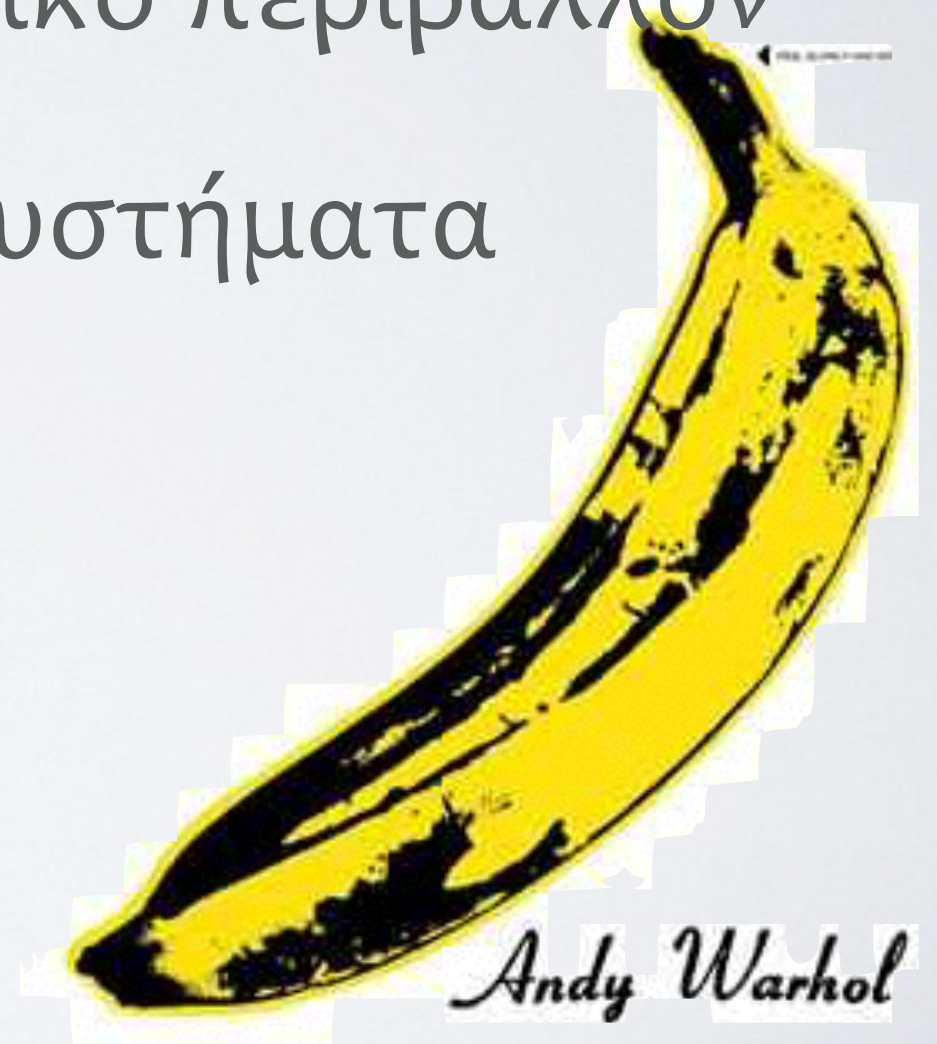
ΔΟΣΗ

- Το είδος της ακτινοβολίας παίζει ρόλο στο πόση επίδραση μπορεί να έχει η απορροφούμενη ενέργεια
- Διαφορετική δράση έχει το α με $E=1 \text{ MeV}$ από το 1 MeV φωτόνιο γ
- Δόση $D \longrightarrow 1 \text{ Joule/kg} = 1 \text{ Gy}$
- **Ισοδύναμη δόση** $DE = D * Q$, όπου Q παράγοντας στάθμισης για το είδος ακτινοβολίας
- μονάδα DE : **$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} * Q$**



ΦΥΣΙΚΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

- Είναι το σύνολο των ειδών ιονίζουσας ακτινοβολίας προερχόμενο από ισότοπα που υπάρχουν στο ευρύτερο φυσικό περιβάλλον
 - Χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα
 - Γεωλογικοί ορίζοντες
 - Κοσμική ακτινοβολία



ΑΛΥΣΙΔΕΣ ΟΥΡΑΝΙΟΥ/ΘΟΡΙΟΥ

- $^{238}\text{U} \longrightarrow t_{1/2} = 4.468 (5) 10^9 \text{ a}$
- $^{232}\text{Th} \longrightarrow t_{1/2} = 14.02 (6) 10^9 \text{ a}$
- Αποτελούν τους βασικούς τροφοδότες χημικών στοιχείων και ισοτόπων
- Έχουν δημιουργηθεί αρχικά σε κάποιο δυναμικό αστρικό περιβάλλον πχ υπερκαινοφανή αστέρα

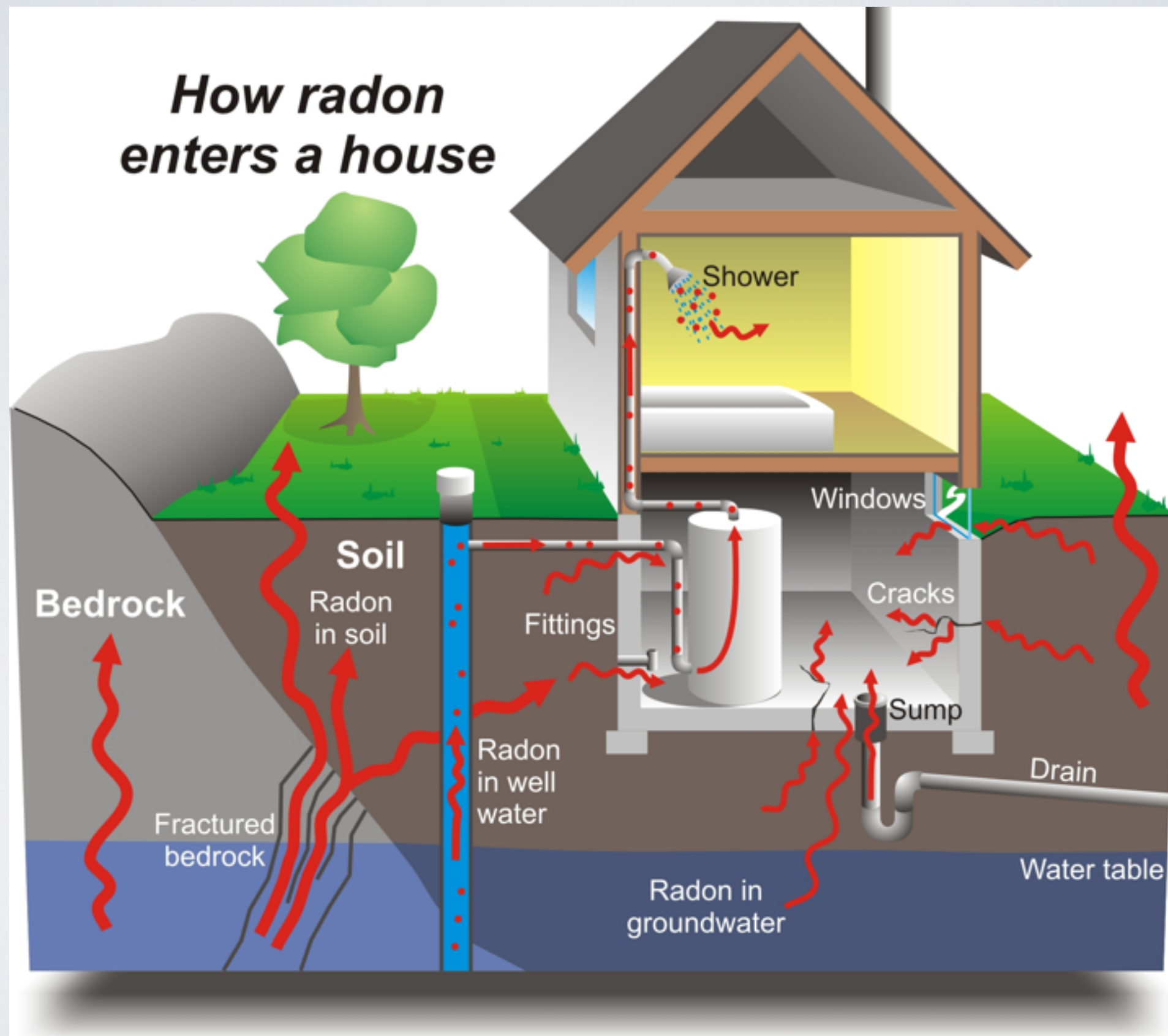
^{40}K

- $^{40}\text{K} \longrightarrow t_{1/2} = 1.2504 (30) 10^9 \text{ a}$
- 0.012% του φυσικού καλίου
- έχει βασικό ρόλο στην ακτινοβολία υποβάθρου
- παρέχει ακτινοβολία γ ($E=1461 \text{ keV}$)

Abundances

% in Universe	0.0003%
% in Sun	0.0004%
% in Meteorites	0.07%
% in Earth's Crust	1.5%
% in Oceans	0.042%
% in Humans	0.2%

RADONIO



ΡΑΔΟΝΙΟ

- Θυγατρικός πυρήνας του ^{238}U
- Ευγενές αέριο, εισπνεύσιμο
- Σημαντικός παράγοντας επιβάρυνσης σε κλειστούς χώρους
- Εκπέμπει ακτινοβολία $\alpha \rightarrow$ εσωτερική ακτινοβολήση \rightarrow μεγαλύτερη βλάβη

ΤΕΧΝΗΤΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

- Όλες οι ακτινοβολίες που πηγάζουν από πηγές που έχουν κατασκευασθεί ή εμπλουτισθεί με τεχνητό τρόπο
 - Πυρηνικές δοκιμές
 - Πυρηνικά ατυχήματα
 - Ιατρικές εφαρμογές (διαγνωστικά ισότοπα)
 - Παραπροϊόντα βιομηχανίας (πχ λιπάσματα)

ΤΕΧΝΗΤΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

- ^{137}Cs ($t_{1/2} = 30 \text{ a}$)
 - αλκάλιο, ανταγωνιστικό του K, γεωλογικός δείκτης ιζημάτων, αποστειρωτικό σε μεταγγίσεις αίματος
- ^{60}Co ($t_{1/2} = 5.3 \text{ a}$)
 - ιδιαίτερα ενεργητική πηγή γ
 - το πιο κοινό αποστειρωτικό (ιατρική, τρόφιμα ...)
- ^{90}Sr ($t_{1/2} = 28.8 \text{ a}$)
 - αλκ. γαία, ανταγωνιστικό του ασβεστίου
- ^{131}I ($t_{1/2} = 8 \text{ d}$)
 - διαγνωστικό για θυρεοειδή, αποβάλλεται στο αποχετευτικό δίκτυο —> επιβάλλεται προστασία
 - Έχει και θεραπευτική χρήση (βραχυθεραπεία)

ΙΑΤΡΙΚΑ ΡΑΔΙΟΪΣΟΤΟΠΑ

- ^{99m}Tc ($t_{1/2} = 6 \text{ h}$)
 - 80% των εξετάσεων πυρηνικής ιατρικής
 - “εύκολο” στην παραγωγή/διάθεση/διαχείριση
- ^{18}F ($t_{1/2} = 2 \text{ h}$)
 - Ιδανικό για PET (FDG)
 - παράγεται σε κύκλωτρα ιατρικής χρήσης
- Εναλλακτικά διαγνωστικά:
 - ^{201}Tl , ^{82}Rb , ^{89}Sr , ^{153}Sm , ^{177}Lu

ΠΟΛΩΝΙΟ-210

- ^{210}Po ($t_{1/2} = 138 \text{ } \delta$)
 - δεν βρίσκεται εύκολα στη φύση λόγω σχετικά μικρού χρόνου ζωής σε σχέση με το ^{226}Ra ($t_{1/2}=1600 \text{ a}$)
 - παράγεται σε αντιδραστήρα
 - εκπέμπει μόνο α (μεταφέρεται εύκολα)
 - αποδιεγείρεται γρήγορα
 - για να δράσει αποτελεσματικά πρέπει να προσκολληθεί σε κάποιο μεταφορέα (ένα απλό σάκχαρο πχ)
 - Η περίπτωση Λιβιτνένκο ανέδειξε το ρόλο του ^{210}Po ως δηλητήριο. Δύο ακόμη περιπτώσεις Ρώσων είχαν παρόμοια συμπτώματα λίγο αργότερα

